Изв.вузов «ПНД», т.6, № 2, 1998

УДК 001:519.711.3

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РОСТА ДОСТИЖЕНИЙ

В.В. Качак, Е.С. Мчедлова

Предложена одна из возможных математических моделей для описания взаимодействий двух научных направлений, представленная системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Анализ структуры фазового пространства и сравнение реализаций позволили на качественном уровне рассмотреть эволюцию научных направлений с учетом ограничения нелинейностью экспоненцианьного роста достижений для разных типов взаимодействия (сотрудничество, конкуренция, подавление) и собственных тенденций в развитии отдельного направления.

Введение

Известно, что большинство формализованных моделей развития науки строится в предположении экспоненциального роста научных достижений. Это справедливо, поскольку полученные результаты и достижения становятся, в свою очередь, источником новой информации и результатов, за счет чего поддерживается непрерывный процесс генерации знания. Такие модели, как правило, могут служить начальным приближением при рассмотрении некоторых типов реальных систем (см., например, [1]). С физической точки зрения подобная модель может быть интерпретирована как система с положительной обратной связью, которая, как известно, порождает неустойчивые решения, неограниченно возрастающие во времени. Применяя модели с экспоненциально возрастающими решениями для описания эволюции того или иного научного направления, следует учесть тот факт, что на практике за этапом лавинного роста научной информации в некоторой области, наступает период относительного насыщения и стабилизации. Тогда для дальнейшего роста научных достижений требуется смена парадигмы или «научная революция» [2], после которой область знания развивается на качественно новом уровне.

Таким образом, корректная математическая интерпретация описанного механизма эволюции науки требует внести в модель фактор, ограничивающий экспоненциальный рост достижений, например, нелинейность. Это выглядит вполне естественным, если учесть, что подавляющее большинство процессов в природе и обществе носят нелинейный характер.

Все перечисленное приводит к выводу, что на этапе построения моделей невозможно обойтись без математического формализма. Помимо прочего, можно выделить две основные причины такой необходимости: накопление большого фактического материала по кругу исследуемых явлений и относительная сложность связей между явлениями. Вследствие этого описательный и чисто содержательный подходы в соответствующих областях становятся затруднительными в силу своей громоздкости и нерезультативности, что приводит к поиску более компактного и эффективного способа описания, основанном на языке математики и нелинейной динамики.

Как оказалось, применение математических моделей и подходов для изучения науки как сложной системы исследований выражает не только общую тенденцию современного знания, но и принципиально необходимо для выработки обоснованных решений в области научной политики. Поэтому методы науковедения, основанные на математическом описании, давно утратили характер единичных попыток и все увереннее становятся в один ряд с более традиционным содержательным анализом науки как системы научного знания и как социального института. Этот процесс затрудняется тем, что в отличие от естественных и технических систем, наука, прежде всего, является общественным институтом и социальной системой. По этой причине существуют сложности математического описания в науковедении, во многом близкие к общим трудностям применения математики в социальных науках. Прежде всего, это отсутствие точных количественных характеристик, отражающих содержание таких понятий, как научное знание, продуктивность научного труда, ценность научного результата. Так, например, не представляется возможным однозначно и четко определить связь между количеством научных публикаций и качеством научной деятельности.

В силу перечисленных обстоятельств обоснованное описание развития науки должно опираться не столько на количественный анализ, сколько на исследование и качественную интерпретацию внутренних механизмов функционирования науки.

В данной работе мы предлагаем одну из возможных качественных моделей взаимодействий в науке – модель эволюции двух научных направлений с учетом ограничения экспоненциального роста переменных нелинейностью.

Сохраняя смысл обобщенных макропеременных x и y (см. [1]), описывающих состояние проблем в областях знания X и Y, соответственно, дополним ранее рассмотренную в работе [1] математическую модель, учитывая нелинейные свойства процессов в каждой из областей. Это легко сделать, полагая характер процессов логистическим: $dx/dt=ax-bx^2$, что представляется разумным, так как $dx/dt=ax$ описывает некий прирост научной продукции, а нелинейный член $-bx^2$ ограничивает экспоненциальный рост решения и выражает убывание соответствующей макропеременной, например, за счет старения научных результатов, их вхождения в более общие теории, либо их опровержения.

Учитывая нелинейность при описании взаимодействия двух научных направлений X и Y, запишем модельную систему уравнений в виде

$$\begin{aligned} dx/dt &= c_1xy - c_2x - b_1x^2, \\ dy/dt &= c_3xy - c_4y - b_2y^2, \end{aligned} \qquad (1)$$

где коэффициенты c_i ($i=1,\ldots,4$) сохраняют прежний смысл, то есть c_2 и c_4 определяют собственный характер развития направлений X и Y, c_1 и c_3 задают тип воздействия направления Y на X и X на Y, а коэффициенты нелинейности b_1 и b_2 определяют скорость старения информации или исчерпания результатов данного научного направления ($b_1,b_2>0$). Отметим, что аналогичная математическая постановка задачи содержится в [3], где в обзорном порядке рассмотрено информационное взаимодействие двух близких математических дисциплин (в качестве переменных выбрано число теорем) и проблема конкуренции гипотез, претендующих на объяснение эмпирического материала и последующее признание их научным сообществом. В последнем случае в качестве характеристических переменных рассматривается совокупность информационных данных в пользу каждой из теорий.

Модели такого типа классифицируются в литературе как модели взаимодействия с *горизонтальной* структурой [3]. Они, в отличие от моделей типа «хищник–жертва» (уравнения Вольтерра), описывают взаимодействия равноправных элементов, конкурирующих (либо кооперирующихся), находясь на одной иерархической ступени.

1. Анализ структуры фазового пространства

Обратимся к качественному исследованию фазового пространства системы (1). Приравнивая нулю правые части уравнений (1), находим

$$c_1xy - c_2x - b_1x^2 = 0,$$

$$c_3xy - c_4y - b_2y^2 = 0,$$

откуда легко получить координаты особых точек. Их четыре:

$$\begin{gathered} 1)\ x^* = 0,\ y^* = 0; \quad 2)\ x^* = 0,\ y^* = -c_4/b_2; \quad 3)\ x^* = -c_2/b_1,\ y^* = 0; \\ 4)\ x^* = (1/b_1)[c_1(c_4b_1 + c_2c_3)/(c_1c_3 - b_1b_2) - c_2], \quad y^* = (c_4b_1 + c_2c_3)/(c_1c_3 - b_1b_2). \end{gathered} \tag{2}$$

Для исследования типов состояний равновесия выведем характеристическое уравнение системы (1) в общем виде, как это было сделано в [1]. Обозначим

$$c_1xy - c_2x - b_1x^2 = \varphi(x,y),$$

$$c_3xy - c_4y - b_2y^2 = \xi(x,y)$$

и запишем определитель

$$\Delta(x^*,y^*) = \begin{vmatrix} \varphi'_x(x^*,y^*) & \varphi'_y(x^*,y^*) \\ \xi'_x(x^*,y^*) & \xi'_y(x^*,y^*) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_1y^* - c_2 - 2b_1x^* & c_1x^* \\ c_3y^* & c_3x^* - c_4 - 2b_2y^* \end{vmatrix},$$

$$\Delta(x^*,y^*) = (2b_1c_4 - c_2c_3)x^* - (2b_2c_2 - c_1c_4)y^* - 2b_1c_3(x^*)^2 - 2b_2c_1(y^*)^2 + 4b_1b_2x^*y^* + c_2c_4$$

и величину

$$\sigma = \varphi'_x(x^*,y^*) + \xi'_y(x^*,y^*) = (c_3 - 2b_1)x^* + (c_1 - 2b_2)y^* - c_2 - c_4.$$

Значения $\Delta(x^*,y^*)$ и σ определяют вид характеристического уравнения

$$\lambda^2 - \sigma\lambda + \Delta = 0. \tag{3}$$

Обратимся к уравнениям (1). Как и в работе [1], будем рассматривать динамику модельной системы в нескольких случаях.

2. Результаты моделирования и их сравнительный анализ

Случай I. ***Оба направления развивающиеся, X отрицательно влияет на Y, Y положительно влияет на X; $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$.*** В этом случае координаты особых точек системы следующие:

$$\begin{gathered} 1)\ x^* = 0,\ y^* = 0; \quad 2)\ x^* = 0,\ y^* = 1/b_2; \quad 3)\ x^* = 1/b_1,\ y^* = 0; \\ 4)\ x^* = (1 + b_2)/(1 + b_1b_2), \quad y^* = (b_1 - 1)/(1 + b_1b_2). \end{gathered}$$

При $b_1 < 1$ только три точки могут иметь положительные значения координат (изначально предполагается, что переменная, характеризующая состояние научного направления или области, не может быть отрицательной величиной). При $b_1 > 1$ все четыре положения равновесия принимаются к рассмотрению.

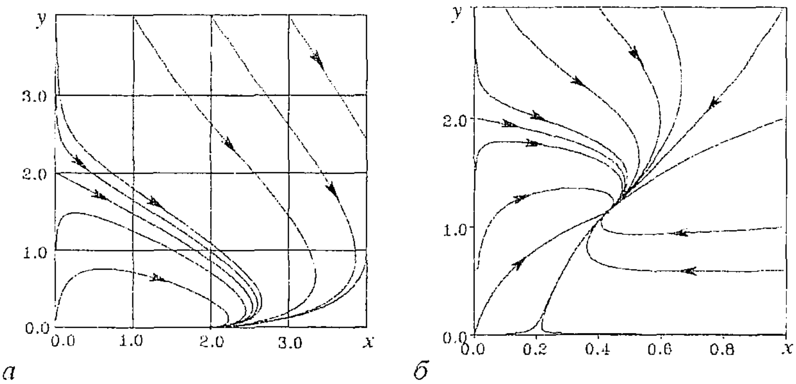


Рис. 1. Структура фазового пространства системы уравнений (1) для случая I (c_1=1, c_2=c_3=c_4=–1) при разных значениях нелинейности: *а* – b_1=b_2=0.5; *б* – b_1=5, b_2=0.5

На рис. 1 представлена структура фазового пространства системы уравнений (1) для двух значений параметров b_1,b_2. Анализ устойчивости показывает, что при x^*=0, y^*=0 корни характеристического уравнения (3), записанного для этого случая, вещественны, положительны и одинаковы: λ_1,λ_2=1, поэтому особая точка – неустойчивый узел. Для второй особой точки, с координатами x^*=0, y^*=1/b_2, корни уравнения действительные, разных знаков λ_1=1+1/b_2, λ_2=–1 из чего следует, что это неустойчивая седловая особая точка. Тип третьей особой точки x^*=1/b_1, y^*=0 всецело зависит от величины b_1 (λ_1=1–1/b_1, λ_2=–1): при b_1<1 мы имеем устойчивый узел (величины λ_1 и λ_2 вещественны и отрицательны), а при b_1>1 – особую точку типа седло (λ_1>0, λ_2<0).

Тип четвертого, из перечисленных выше, положения равновесия легко определить, записав уравнение (3) для данного случая

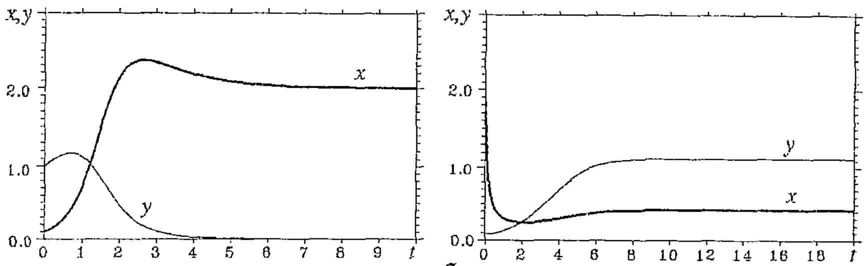
$$\lambda^2 - [2 - 3(b_1 + b_2)/(1 + b_1b_2)]\lambda + 1 - 3(b_1 + b_2)/(1 + b_1b_2) +$$

$$+2[b_1(1 + b_2)^2 - b_1(b_1 - 1)^2 + 2b_1b_2(1 + b_2)(b_1 - 1)]/(1 + b_1b_2)^2 = 0.$$

При b_1<1 особая точка имеет отрицательные координаты, а в случае b_1=5.0, b_2=0.5, изображенном на рис. 1,*б*, величины λ_1 и λ_2 вещественны и отрицательны, из чего следует, что данное положение равновесия является устойчивым узлом.

Сравнивая результаты, полученные для случаев с нелинейным ограничением роста переменных x и y (рис. 1), с результатами, полученными ранее в [1] для $b_{1,2}$=0, можно заметить, что при $b_{1,2}$≠0 в фазовом пространстве системы (1) появляется устойчивая особая точка, координаты которой зависят от соотношения величин $b_{1,2}$. В этом случае неограниченный рост макропеременной x отсутствует, а вместо него наблюдается насыщение решения $x(t)$. Для процесса, изображенного на рис. 2, *а*, это означает, что развивающееся научное направление X, поддерживаемое направлением Y (обладающим значительно лучшим, по сравнению с X, начальным состоянием), после стадии экспоненциального роста научных показателей достигает их максимального уровня, после чего показатели несколько снижаются и выходят на стационарный уровень. Наличие некоторого спада перед выходом в состояние насыщения направления X, можно трактовать как следствие того, что в этот период кооперативное влияние другого направления ослабляется и спадает до нуля: динамика направления Y остается в этом случае такой же, как и при b_1=b_2=0.

Качественно иная ситуация реализуется в случае, когда при b_1>1 в фазовом пространстве системы появляется устойчивый узел с отличными от нуля коорди–



а б

Рис. 2. Решения системы уравнений (1) для случая I (c_1=1, c_2=c_3=c_4=–1): *а* – b_1=b_2=0.5, x_0=0.1, y_0=1.0; *б* – b_1=5, b_2=0.5, x_0=2.0, y_0=0.1

натами (рис. 1, *б*). Это означает, что научные показатели направления *Y* не снижаются до нуля и могут даже превосходить показатели направления *X* (рис. 2, *б*). Для этого необходимо, чтобы «нелинейность», которой характеризуется *X*, превосходила некоторую критическую величину (в данном случае – единицу, вообще же эта величина зависит от значений c_i), то есть скорость потери актуальности научных результатов направления *X* была бы относительно велика.

Следует отметить, что взаимодействие научных направлений в рассмотренных случаях можно интерпретировать как систематическое поглощение направления *Y* со всеми его результатами и достижениями направлением *X*.

Случай II. ***Развивающиеся направления X и Y конкурируют, взаимное влияние отрицательно;*** c_1=c_2=c_3=c_4=**–1.** Используя характеристическое уравнение, которое для данного случая запишется в виде

$$\lambda_1 + [(1+2b_1)x^* + (1+2b_2)y^* - 2]\lambda +$$

$$+ 1 - (2b_1+1)x^* - (2b_2+1)y^* + 2b_1(x^*)^2 + 2b_2(y^*)^2 + 4b_1b_2x^*y^* = 0, \quad (4)$$

и значения координат состояний равновесия

$$1)\; x^* = 0,\; y^* = 0; \quad 2)\; x^* = 0,\; y^* = 1/b_2; \quad 3)\; x^* = 1/b_1,\; y^* = 0;$$

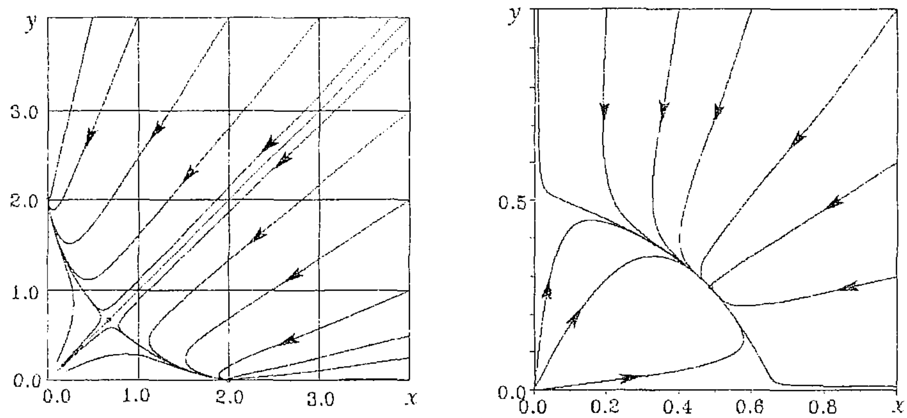
$$4)\; x^* = (1-b_2)/(1-b_1b_2), \quad y^* = (1-b_1)/(1-b_1b_2),$$

проведем краткий качественный анализ фазового пространства системы.

Первая особая точка – неустойчивый узел, так как корни уравнения (4) вещественны и положительны. Тип второй особой точки $(0,1/b_2)$ зависит от b_2. Характеристическое уравнение (4) имеет корни λ_1=–1, λ_2=1–1/b_2. Из этого следует, что при b_2<1 особая точка будет устойчивым узлом, а при b_2>1 – неустойчивой седловой особой точкой. Аналогично и в силу симметрии уравнений третья особая точка определяется значением b_1: при b_1<1 мы имеем устойчивый узел, при b_1>1 – особую точку типа седло. И, наконец, характер положения равновесия в последнем случае зависит как от b_1, так и от b_2: при b_1<1, b_2<1 оно является седлом, при b_1>1, b_2>1 – устойчивым узлом, а при других сочетаниях b_1 и b_2 координаты положения равновесия отрицательны и оно не представляет интереса в контексте рассматриваемой модели.

Фазовое пространство представлено на рис. 3 для двух случаев, когда величины b_1 и b_2 меньше и больше некоторого критического значения.

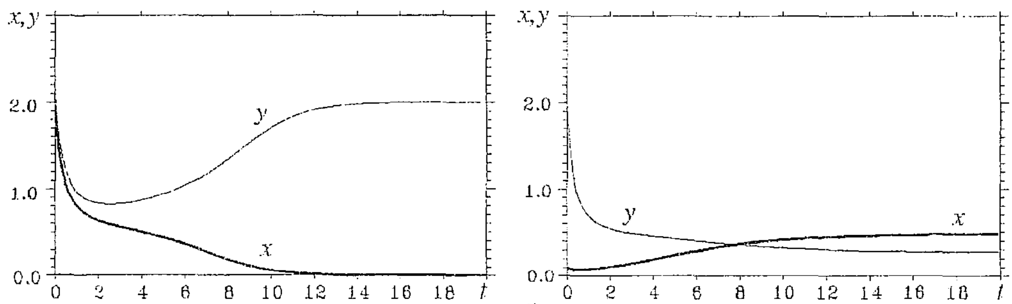
В случае b_1<1, b_2<1 (рис. 3, *а*, направления идентичны) непосредственная конкуренция как тип взаимодействия, заложенный в модели, приводит к тому, что результат взаимодействия одинаковых направлений (b_1=b_2=0.5) полностью предопределен соотношением начальных условий: направление с лучшим



а б

Рис. 3. Структура фазового пространства системы уравнений (1) для случая II ($c_1=c_2=c_3=c_4=-1$): *а* – $b_1=b_2=0.5$; *б* – $b_1=1.5$, $b_2=1.9$

начальным состоянием проявляет положительную динамику и испытывает насыщение, когда объем научной продукции перестает изменяться во времени (рис. 4, *а*). За исключением эффекта насыщения, изменения макропеременных во времени носят такой же характер, как и при $b_1=b_2=0$.



а б

Рис. 4. Решение системы уравнений (1) для случая II ($c_1=c_2=c_3=c_4=-1$): *а* – $b_1=b_2=0.5$, $x_0=1.9$, $y_0=2.1$; *б* – $b_1=1.5$, $b_2=1.9$, $x_0=0.1$, $y_0=2.0$

Совершенно другая ситуация имеет место при $b_1>1$, $b_2>1$. Оказывается, что в условиях взаимной конкуренции нелинейность (или скорость исчерпания научной информации направлений) дает возможность направлениям сосуществовать (рис. 4, *б*). Устойчивая особая точка с ненулевыми координатами в фазовом пространстве (см. рис. 3, *б*) свидетельствует о том, что с течением времени обобщенные переменные x и y примут стационарные значения. При этом величина стационарного значения больше для направления с меньшей нелинейностью из допустимых.

Случай III. ***Оба направления «затухающие», взаимное влияние положительно;*** $c_1=c_2=c_3=c_4=1$**.** Только две особые точки в этом случае могут иметь неотрицательные координаты

$$1)\ x^*=0,\ y^*=0; \qquad 2)\ x^*=(1+b_2)/(1-b_1b_2),\ y^*=(1+b_1)/(1-b_1b_2),$$

причем вторая точка представляет интерес, когда $b_1b_2<1$ (седловая особая точка).

Динамика системы качественно не изменилась по сравнению с динамикой модели без квадратичной нелинейности, за тем исключением, что седловая особая точка и сепаратриса, разделяющая области с возрастающими и убывающими

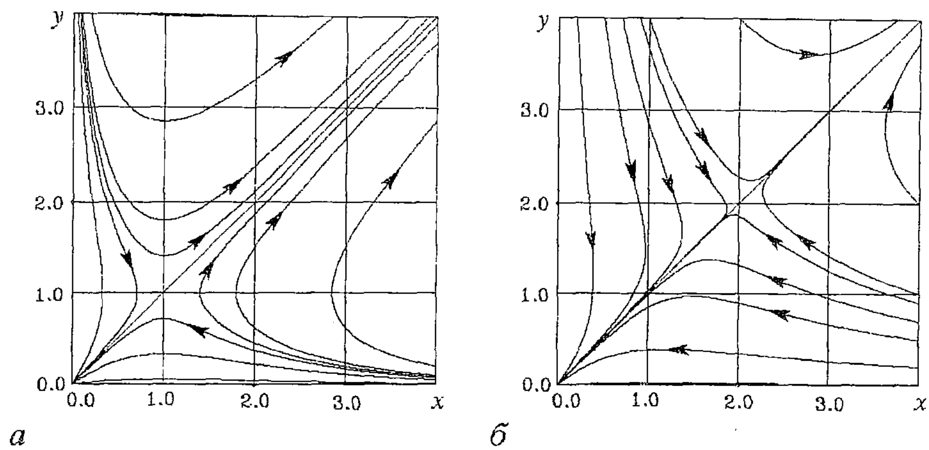


Рис. 5. Структура фазового пространства системы уравнений (1) для случая III ($c_1=c_2=c_3=c_4=1$): *а* – $b_1=b_2=0$; *б* – $b_1=b_2=0.5$

решениями, изменили свои координаты на фазовой плоскости в сторону больших значений (рис. 5).

Таким образом, при увеличении нелинейного ограничения роста достижений в условиях взаимного сотрудничества научных направлений с изначально отрицательной динамикой для сохранения развития необходимо увеличить начальные условия или усилить фактор положительного взаимного влияния.

На рис. 6 представлены качественно разные решения системы (1) для мало отличающихся x_0, y_0.

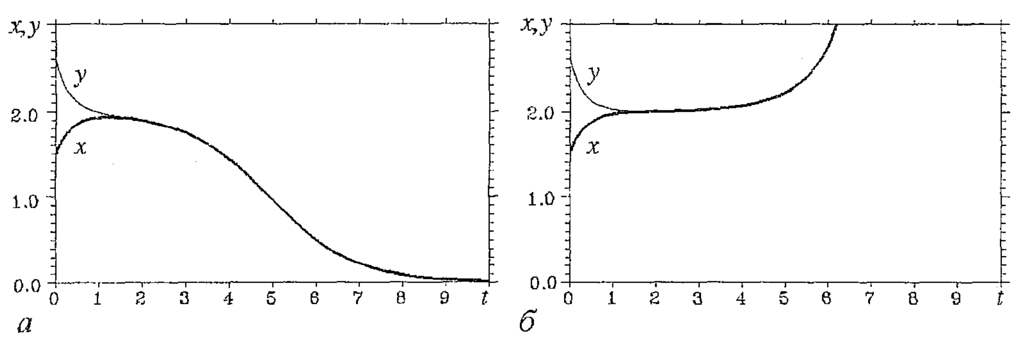


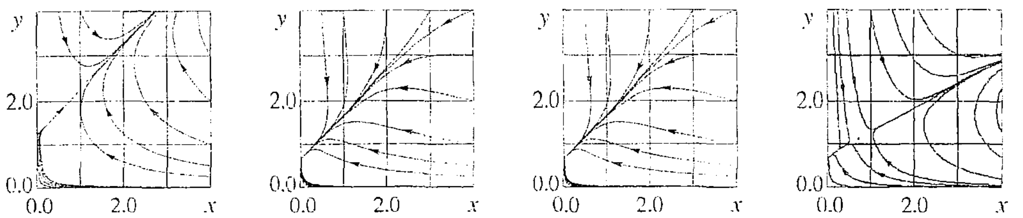
Рис. 6. Решение системы уравнений (1) для случая III ($c_1=c_2=c_3=c_4=1$) $b_1=b_2=0.5$: *а* – $x_0=1.5$, $y_0=2.6$; *б* – $x_0=1.525$, $y_0=2.6$

Случай IV. ***Направления противоположных типов с положительной обратной связью;*** $\boldsymbol{c_1=c_2=c_3=1, c_4=-1}$. В этом случае система имеет три положения равновесия с неотрицательными значениями координат

$$1)\ x^*=0,\ y^*=0;\quad 2)\ x^*=0,\ y^*=1/b_2;\quad 3)\ x^*=(b_2-1)/(1-b_1b_2),\ y^*=(1-b_1)/(1-b_1b_2).$$

Положение равновесия, находящееся в начале координат – седловая особая точка; корни соответствующего характеристического уравнения $\lambda_{1,2}=\pm 1$. Вторая особая точка представляет собой седло при $b_2<1$ и устойчивый узел при $b_2>1$. Третья особая точка имеет положительные координаты в двух случаях: $b_1>1$, $b_2<1$, $b_1b_2>1$ и $b_1<1$, $b_2>1$, $b_1b_2<1$, являясь устойчивым узлом и седлом, соответственно. Возможные сочетания особых точек на фазовой плоскости редставлены на рис. 7, изменения обобщенных переменных x и y во времени – на рис. 8.

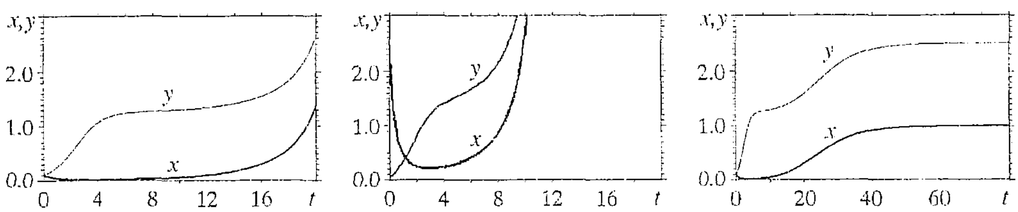
Отметим случай, когда $b_1>1$, $1/b_1<b_2<1$ (рис. 7, *в*). Это единственный вариант,



а *б* *в* *г*

Рис. 7. Структура фазового пространства системы уравнений (1) для случая IV ($c_1=c_2=c_3=1$, $c_4=-1$): *а* – $b_1=b_2=0.8$; *б* – $b_1=b_2=1.5$; *в* – $b_1=1.5$, $b_2=0.8$; *г* – $b_1=0.2$, $b_2=1.5$

когда показатели деградирующего направления X выходят на некоторый стационарный уровень. При этом начальные условия могут быть таковы (рис. 8,*в*), что эволюция во времени развивающегося направления Y отчасти согласуется с теорией «научных революций» Т.Куна [2], в частности, с тем, что развитие науки носит скачкообразный характер, когда относительно продолжительные периоды «нормальной науки» чередуются с периодами экспоненциального роста знания и смены парадигм.



а *б* *в*

Рис. 8. Решение системы уравнений (1) для случая IV ($c_1=c_2=c_3=1$, $c_4=-1$): *а* – $x_0=0.1$, $y_0=0.1$, $b_1=b_2=0.8$; *б* – $x_0=2.5$, $y_0=0.05$, $b_1=b_2=0.8$; *в* – $x_0=0.1$, $y_0=0.1$, $b_1=1.5$, $b_2=0.8$

Случай V. ***«Затухающее» направление X отрицательно воздействует на Y, развивающееся позитивно и положительно влияющее на X;*** $c_1=c_2=1$, $c_3=c_4=-1$. На фазовой плоскости системы (1) в этом случае может присутствовать от двух до трех особых точек с неотрицательными значениями координат. Наибольший интерес представляет особая точка с координатами

$$x^* = (1-b_2)/(1+b_1b_2), \quad y^* = (1+b_1)/(1+b_1b_2),$$

которая является устойчивым фокусом и имеет положительные координаты (рис. 9). По этой причине, обобщенные макропеременные $x(t)$ и $y(t)$ испытывают осцилляции, прежде чем достигнут стационарных значений (рис. 10). Осцилляции являются быстро затухающими и не синфазны друг другу. Начальная амплитуда осцилляций тем больше, чем дальше начальные условия от равновесия.

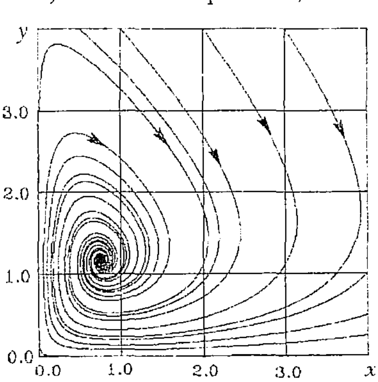


Рис. 9. Структура фазового пространства системы уравнений (1) для случая V ($c_1=c_2=1$, $c_3=c_4=-1$) $b_1=b_2=0.2$

Отметим также, что в отличие от случая, когда $b_1=b_2=0$, при $b_1,b_2>0$ существует разница амплитуд обобщенных переменных, характеризующих динамику направлений. Ввиду различий собственной динамики направлений X и Y, величина $y(t)$ всегда превосходит $x(t)$, и эта разница зависит от величин нелинейности (рис. 11).

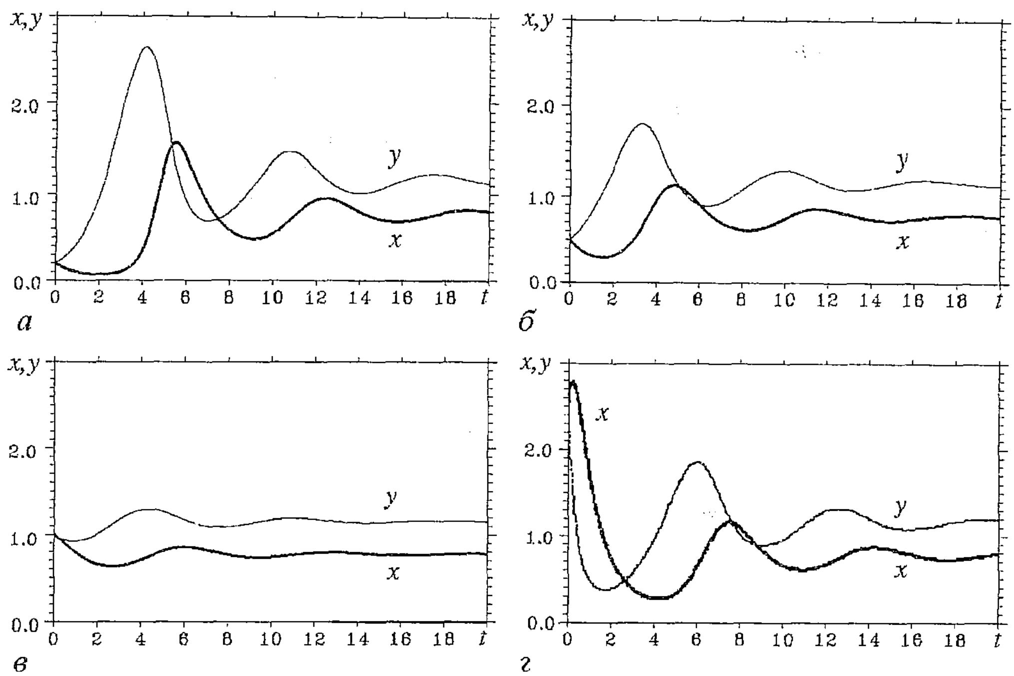


Рис. 10. Решение системы уравнений (1) для случая V ($c_1=c_2=1$, $c_3=c_4=-1$) $b_1=b_2=0.2$: *а* – $x_0=y_0=0.2$; *б* – $x_0=y_0=0.5$; *в* – $x_0=y_0=1$; *г* – $x_0=y_0=2.5$

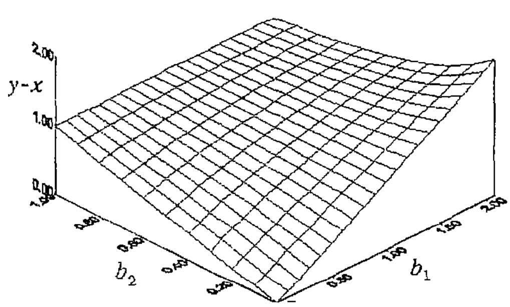


Рис. 11. Разность стационарных решений системы (1) в зависимости от параметров нелинейности b_1 и b_2 для случая V ($c_1=c_2=1$, $c_3=c_4=-1$)

Заключение

Прежде, чем приступить к обобщению результатов моделирования, полученных для случаев I – V, в пределах исследуемой проблемы, классифицируем рассмотренные типы взаимодействия. Всего их три: взаимное влияние научных направлений друг на друга положительно – *сотрудничество*; взаимное влияние отрицательно – *конкуренция*; взаимное влияние различно – одно из направлений подавляет другое, которое подерживает его развитие, – имеет место *подавление* одного научного направления другим.

Принимая во внимание данную классификацию, и то, что каждое направление характеризуется, помимо начальных условий, ростом научных достижений за счет внутренних ресурсов, с одной стороны, и величиной нелинейного ограничения этого роста за счет исчерпания информации, с другой, обратимся к рассмотренным ранее случаям.

Оказалось, что при взаимодействии по типу *подавления* двух научных направлений, в каждом из которых заложена тенденция к развитию (случай I), результат взаимодействия в значительной степени определяется величиной нелинейного ограничения – скоростью исчерпания результатов направления, со стороны которого осуществляется отрицательное влияние. Развитие подавляемого направления становится возможным только тогда, когда скорость исчерпания результатов превосходит некоторое критическое значение. Из этого также следует, что научное направление с сильной «диссипацией» научных результатов (высокой скоростью их исчерпания) не в состоянии полностью включить в себя направление, подерживающее его развитие.

В случае конкуренции двух развивающихся научных направлений (случай II) учет ограничения роста достижений нелинейностью позволил понять, что данное ограничение является существенным фактором, позволяющим обоим направлениям «выжить» в условиях конкуренции вне зависимости от начальных условий. Так, если скорость исчерпания результатов, в частности, за счет быстрого старения информации или вхождения ее в другие теории, больше некоторой критической, развитие направлений принимает стационарный характер.

Для того, чтобы развитие стало возможным в условиях сотрудничества направлений с изначально отрицательной динамикой (случай III), увеличение «диссипации» результатов требует улучшения начального состояния. Возможность роста научных показателей обоих направлений, несмотря на их изначально деградирующий характер, лишний раз подтверждает преимущества кооперативного типа взаимодействия в исследовательских работах.

Сотрудничество развивающегося и деградирующего научных направлений (случай IV) при определенных величинах нелинейных ограничений роста достижений может оказаться плодотворным для направления с изначально отрицательной динамикой. Так, в случае, когда скорость исчерпания результатов направления с изначальной тенденцией к развитию превосходит некоторое критическое значение, а скорость исчерпания результатов деградирующего направления несколько меньше критической, научные показатели последнего достигают стационарного значения, не зависящего от начальных условий.

В последнем случае учет ограничения роста научных достижений приводит к тому, что колебания показателей, характеризующих каждое направление, затухают, переходя в стационарное соотояние. При этом существует разница показателей, зависящая от скорости исчерпания достижений для обоих научных направлений.

Таким образом, можно предположить, что несмотря на высокую степень идеализации, существенные упрощения, присущие модели, и качественный анализ результатов, внесенная в модель нелинейная поправка делает ее приближением более высокого порядка при описании взаимодействий в научных сообществах.

Библиографический список

1. *Качак В.В., Мчедлова Е.С.* Модель взаимодействия и эволюции двух научных направлений // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1997. Т. 5, № 4. С.110.

2. *Кун Т.* Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. 288 с.

3. *Яблонский А.И.* Математические модели в исследовании науки. М.: Наука, 1986. 352 с.

*Министерство общего
и профессионального образования РФ
Высший колледж прокладных наук*

Поступила в редакцию 11.06.98

THE MODEL OF INTERACTIONS OF TWO SCIENTIFIC FIELDS WITH EXPONENTIAL GROWTH OF ACHIEVEMENTS BOUNDED BY NONLINEARITY

V.V. Kachak, E.S. Mchedlova

One model of interaction of two scientific fields is suggested. The model described by system of ordinary differential equations with nonlinearity. Analysis of phase space and realizations comparison allowed to investigate the evolution of scientific fields