

## **ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО- ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА: МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ**

**В.В. КОЛОС**

Обоснована интерпретация телекоммуникационной информационно-образовательной среды (ТИОС) как бинарной системы, двумя макропеременными которой являются количество информационных ресурсов, предоставляемых средой, и количество индивидов, использующих информацию. Построена модель ТИОС — автономная динамическая система первого порядка, ее фактор развития — время. Рассмотрены возможные стационарные состояния системы и условия их существования. Сформирован критерий сравнительного анализа ТИОС.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основным тезисом эволюционного моделирования является замена процесса моделирования сложного объекта моделированием его эволюции. Сама же эволюция, как известно, заключается в самоусовершенствовании (самоорганизации) исследуемого объекта, представленного в виде соответствующего прогноза (прогностического алгоритма [1], уравнений изменения существенных переменных [2] и др. работы).

В проблемах прогноза и оценки различных явлений часто необходимо моделировать динамику изменения основных параметров исследуемой системы с учетом ее взаимодействия с окружающей средой, например, распространения информации. Во многих случаях важна не количественная оценка соответствия критериям оптимальности, а возможность качественно оценить динамику развития и провести сравнительный анализ различных эволюционных схем. Таким образом, процесс эволюционного моделирования сложной системы дает возможность поиска траекторий системы, не только допустимых с точки зрения имеющихся критериев рациональности, но и обеспечивающих наиболее благоприятные результаты самоорганизации.

Одним из проявлений обратной связи в контексте эволюционной теории является влияние возникающих в процессе эволюции макроскопических структур на микроскопические события [3]. Развитие коммуникационных возможностей общества породило возникновение таких макроскопических явлений, как всевозможные сетевые структуры, функционирование которых базируется на использовании телекоммуникаций, в частности компьютерных [4–7]. В свою очередь, данные макроскопические структуры не могут не оказывать влияния на такие микроскопические события, как передача информации между индивидами (односторонняя и двусторонняя) и, вследствие изменения характера последней, на создание информационных сущностей, подлежащих обработке и транспортированию с помощью современных средств телекоммуникации.

Одним из наиболее распространенных представителей макроскопических сетевых сущностей в современном социуме является телекоммуникационная информационно-образовательная среда, представляющая собой социально-техническую систему [8]. Следует отметить, что в области изучения подобных систем ощущается недостаток в моделях, основанных на системах разумных гипотез, на которые можно опереться.

**Телекоммуникационная информационно-образовательная среда (ТИОС)** — это виртуальная среда, обеспечивающая своих участников информационными, учебными и методическими ресурсами, а также средствами реализации учебной, обучающей и совместной деятельности на базе глобальных компьютерных коммуникаций.

В связи с этим представляет интерес исследование динамики процессов получения информации индивидами и продуцирования информационных ресурсов в рамках функционирования ТИОС, главными целями которой являются:

- Распространение информации.
- Продуцирование и экспертиза, т.е. качественная оценка (определение ценности, степени старения) информационных ресурсов, представляемых ТИОС.

Данный вывод можно сделать, исходя из анализа эволюции образовательных сред и особенностей функционирования современных ТИОС [8]. Знание хода протекания процессов распространения информации и продуцирования информационных ресурсов поможет сделать анализ текущего состояния ТИОС и прогнозирования динамики ее функционирования. Кроме того, появится возможность определить характер необходимых изменений параметров ТИОС (управляющих воздействий) для обеспечения желаемых значений характеристик функционирования.

Таким образом, цель данной работы — предложить способ моделирования основных информационных процессов ТИОС для оценивания и прогнозирования ее динамики с целью эффективного и целенаправленного мониторинга.

## ВЫБОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Научно-исследовательский анализ показал, что большинство формализованных моделей развития науки и культуры [11] основано, как правило, на концепции экспоненциального роста ее основных параметров, многократно подтвержденной эмпирически и исследованной теоретически [12]. Данный подход вполне применим к моделированию ТИОС, поскольку она может быть рассмотрена как подобласть соответствующего направления или области науки или культуры с высокой интенсивностью информационного взаимодействия и скоростью обновления продукции. По экспоненте растут не только такие легко измеримые внешние показатели науки и культуры, как ассигнования, кадры, публикации, технологические параметры, но и изобретения, открытия, нововведения. 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 такие модели для описания эволюции како-

го-либо направления или области науки и культуры, следует учесть, что на практике за этапом лавинного роста, например научной продукции в некоторой области, наступает период относительного насыщения и стабилизации, а иногда и падения. В итоге — отток специалистов. Это мы наблюдаем и в динамике большинства веб-сайтов. Для дальнейшего роста научных достижений требуется смена парадигмы или так называемая «научная революция», после которой область начинает развиваться на качественно новом уровне [13].

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

Из описанного выше можно сделать вывод о том, что на этапе построения моделей невозможно обойтись без математического формализма. Выделим две причины такой необходимости: 1) накопление большого фактического материала по кругу исследуемых явлений и 2) относительная сложность связей между явлениями. При этом усложняются описательный и чисто содержательный подходы в соответствующих областях из-за своей громоздкости и нерезультативности, что требует поиска более эффективного способа описания, основанного на языке математики и нелинейной динамики.

Процесс усложняется также из-за того, что в отличие от естественных и чисто технических систем ТИОС носит общественный характер и, обладая социальными признаками, является социально-технической системой. По этой причине существуют сложности ее математического описания, во многом близкие общим трудностям применения математики к социальным аспектам той или иной научно-технической проблемы. Прежде всего, это отсутствие точных количественных характеристик, отражающих содержание таких понятий, как знания, продуктивность научной и образовательной деятельности, ценность ее результата. Так, например, невозможно однозначно и четко определить связь между количеством научной, информационной и образовательной продукции и качеством соответствующей деятельности.

Исходя из описанного выше, обоснованное описание динамики информационных процессов в рамках ТИОС должно базироваться не столько на количественном анализе, сколько на исследовании и качественной интерпретации внутренних механизмов функционирования — информационных процессах. В данном рассмотрении под **информационным процессом** будем понимать процесс последовательного во времени перемещения и преобразования информационных потоков.

## **ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Качественным показателем интенсивности распространения информации несомненно является динамика количества ее носителей.

**Носитель информации** — это психологический, целеустремленный индивид [14], запомнивший информацию, полученную в рамках ТИОС в результате информационного взаимодействия.

Качественным показателем процесса стремления к достижению второй цели ТИОС является динамика количества цифровых информационных ресурсов, являющихся объектом хранения ТИОС и предоставляемых ее участникам. Таким образом, ТИОС можно рассматривать как специальное информационное пространство, состоящее из объектов двух видов:

- 1) информационные ресурсы;
- 2) психологические, целеустремленные индивиды, которые могут выполнять все или некоторые из следующих функций:
  - а) реципиент информационных ресурсов,
  - б) реципиент индивидуальной информации, источником которой является другой психологический, целеустремленный индивид),
  - в) источник индивидуальной информации,
  - г) продуцент информационного ресурса,
  - д) эксперт информационных ресурсов.

На данном пространстве определено отношение информационного взаимодействия. Таким образом, пространство характеризуется количеством информационных ресурсов (электронные публикации, методические рекомендации, учебные объекты [15] и т.д.), а также и количеством носителей информации. Следовательно, с учетом определения информационное взаимодействие представляет собой протяженный во времени процесс изменения состояния информационного пространства (количества информационных ресурсов и/или носителей информации).

Информационное взаимодействие может быть односторонним или двусторонним. Взаимодействие с информационными ресурсами всегда одностороннее (восприятие информационного ресурса или его генерация) — полудуплексный вариант [16]. Взаимодействие между индивидами может быть как полудуплексным, так и дуплексным. Во втором случае присутствуют два информационных потока, одновременно входящий и исходящий для каждого индивида.

## ОБОБЩЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТИОС

Под *обобщенной информационной моделью ТИОС* будем понимать динамическую систему, отражающую характер изменения во времени двух основных макропеременных информационного пространства ТИОС — количества носителей информации ( $y_0(t)$ ) и количества информационных ресурсов ( $y_1(t)$ ). Параметром (фактором развития) обобщенной информационной модели является время ( $t$ ).

Для построения обобщенной информационной модели ТИОС представим ее как бинарную систему [17], состоящую из двух взаимодействующих подсистем (информационных потоков):

- 1) подсистемы распространения информационных ресурсов, качественным показателем функционирования которой является количество индивидов, являющихся носителями информации, предоставляемой ТИОС (как через взаимодействие с ресурсами, так и с помощью межличностного информационного взаимодействия);

2) подсистемы продуцирования информационных ресурсов, качественным показателем функционирования которой является количество информационных ресурсов, представленных в цифровом виде и предоставляемых участникам ТИОС (целеустремленным индивидам).

Под измеряемым показателем продуктивности в исследовании науки принято использовать количество продукции, т.е. публикаций [11]. В случае ТИОС список может быть расширен за счет методических материалов, учебных объектов, каталогов гиперссылок и других информационных материалов, специфических для информационного взаимодействия в телекоммуникационных средах. Очевидно, что подсистемы взаимодействуют между собой, оказывая благотворное влияние друг на друга, т.е. с положительной обратной связью.

Модели такого типа классифицируются как модели взаимодействия с горизонтальной структурой [18]. Они, в отличие от моделей типа «хищник–жертва» [19], описывают взаимодействия равноправных элементов, конкурирующих либо кооперирующихся (как в случае ТИОС), находясь на одной иерархической ступени.

Идеи и методы нелинейной динамики проникли фактически во все области науки, в том числе и гуманитарные [20]. Большой вклад в идеологию построения моделей взаимодействия в науке и культуре был сделан Г.Р. Иваницким. Его подход положен в основу представленной ниже модели.

Для того чтобы охарактеризовать развитие той или иной области знания (полноправным представителем которой можно считать ТИОС), в науковедении, как правило, используют три основных показателя:

- 1) число публикаций;
- 2) количество научных сотрудников;
- 3) число эффективных связей между ними.

Таким образом, выбор основных переменных информационного пространства ТИОС однозначно согласуется с приведенным выше утверждением, если число эффективных связей отразить в виде коэффициента интенсивности межличностного информационного взаимодействия в соответствующей модели.

Сформируем одну из возможных качественных моделей функционирования ТИОС при ограничении экспоненциального роста переменных нелинейностью. В качестве базовой выберем модель взаимодействия двух научных направлений с учетом ограничения экспоненциального роста достижений [21], внося некоторые коррективы. Сформулируем постулаты, определяющие вид нашей модели и отражающие особенности функционирования ТИОС:

- Подсистема продуцирования информационных ресурсов развивается пропорционально квадрату количества индивидов (это позволяет учесть эффект информационного взаимодействия между индивидами), что вполне согласуется с концепцией Г.Р. Иваницкого.
- Взаимодействие индивидов с информационными ресурсами увеличивает не количество ресурсов, а количество индивидов, носителей информации, предоставляемой ТИОС.

- Количество носителей информации изменяется пропорционально имеющимся информационным ресурсам.

- Взаимодействие индивидов с информационными ресурсами ограничивает их экспоненциальный рост, что является результатом качественной оценки (экспертизы) информационных ресурсов, определения степени их старения.

Приведенные выше постулаты декларируют то, что оба информационных потока развиваются в режиме синергии (взаимного сотрудничества), т.е. положительной обратной связи.

Построим математическую модель (обобщенную информационную модель ТИОС), учитывая нелинейные свойства процессов и полагая их характер логистическим [18].

$$\frac{\partial x}{\partial t} = ax - bx^2.$$

Это представляется обоснованным, так как  $\frac{\partial x}{\partial t} = ax$  описывает некий

прирост макропеременной, а нелинейный член  $-bx^2$  ограничивает экспоненциальный рост решения и выражает убывание соответствующей макропеременной, например, за счет старения информационных ресурсов, опровержения научных результатов, изменения сферы деятельности носителей информации. Учитывая также нелинейность, порожденную взаимодействием подсистем, получаем следующую систему с сосредоточенными параметрами, фактором развития которой является время:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_0}{\partial t} &= k_1 * (y_0 * y_1 + y_1) + k_2 * y_0 - k_3 * y_0^2, \\ \frac{\partial y_1}{\partial t} &= l_1 * y_1 + l_2 * y_0^2 - l_3 * y_0 * y_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $k_1$  — взвешенное среднее между отношением количества добавившихся носителей информации в единицу времени к общему количеству ресурсов (относительная частота посещения ресурсов индивидами, не являющимися носителями информации) и отношением количества носителей информации, посетивших ресурсы в единицу времени, к произведению количества носителей информации и количества ресурсов (фактически относительная частота посещения ресурсов носителями информации) — показатель доступности и актуальности ресурсов;

$k_2$  — отношение количества индивидов, осуществляющих межличностные коммуникации с индивидами, не являющимися носителями информации в единицу времени, к общему количеству носителей информации (коэффициент активности носителей информации — показатель интенсивности межличностных коммуникаций);

$k_3$  — отношение доли выбывших носителей информации в единицу времени за счет забывания, изменения сферы деятельности, конкуренции к общему количеству носителей информации (интенсивность утраты носителей информации);

$I_1$  — отношение количества ресурсов, созданных локально (без телекоммуникационного взаимодействия между индивидами) в единицу времени к общему количеству ресурсов (индекс воспроизводства ресурсов);

$I_2$  — отношение количества ресурсов, созданных в результате информационного взаимодействия в единицу времени к общему количеству возможных информационных взаимодействий (продуктивность виртуального сообщества);

$I_3$  — отношение доли выбывших ресурсов в единицу времени вследствие устаревания, проведения экспертизы, опровержения, включения в более унифицированные материалы, утраты актуальности к общему количеству носителей информации (индекс обесценивания ресурсов).

Нетрудно заметить, что предлагаемая модель учитывает все функции ТИОС [8]:

- Проведение дистанционного обучения (продуцируются знания, умения и навыки обучаемых).
- Поддержка постоянно существующего, проблемно-ориентированного, онлайн-общества, по крайней мере, двух видов: соответственно предметной области среды и вопросам преподавания в данной предметной области (продуцируются информационные ресурсы и знания участников сообщества).
- Совместное решение задач. Примером могут служить временные проектные группы (продуцируются новые знания, представленные в электронном виде).
- Создание, поддержка и сохранение информационно-образовательных ресурсов (продуцируются доступные информационно-образовательные ресурсы).
- Обеспечение доступа к территориально-распределенным информационным и образовательным ресурсам.

Значения коэффициентов определяются в результате сбора и анализа статистических данных о функционировании ТИОС за конечный период наблюдений. Очевидно, что  $k_1 \geq 0$ ;  $k_2 \geq 0$ ;  $k_3 \geq 0$ ;  $I_1 \geq 0$ ;  $I_2 \geq 0$ ;  $I_3 \geq 0$ . Таким образом, в качестве объекта исследования имеем автономную нелинейную динамическую систему первого порядка, удовлетворяющую условиям теоремы существования и единственности решения [22]. Причем решение данной системы имеет динамику, совпадающую с динамикой развития направлений науки или культуры, рассмотренной выше. Точный характер решения определяется соотношением коэффициентов. Следовательно, можно утверждать, что построенная модель может претендовать на качественное описание процесса развития реальной ТИОС. Однако количественное описание требует численных значений коэффициентов уравнений.

Отметим, что коэффициенты  $k_i$  отражают уровень реализации ТИОС функций проведения дистанционного обучения и обеспечения доступа к информационным ресурсам [8], коэффициенты  $I_i$ , в свою очередь, являются показателями обеспечения функций создания, поддержки и хранения информационных ресурсов, а также возможностей совместного решения задач. В оценке реализации такой многоплановой функции, как поддержка онлайн-

нового сообщества, определенную роль играет каждый коэффициент из описываемого множества.

Рассмотрим, с какой особенностью функционирования ТИОС связано равенство нулю каждого из коэффициентов. Соответственно определению смысловой нагрузки коэффициентов, функциональным особенностям ТИОС и анализу функционирования реальных сред можно утверждать, если

$k_1 = 0$ , отсутствует возможность информационного взаимодействия с цифровыми ресурсами ТИОС;

$k_2 = 0$ , в ТИОС не реализуется функция обучения;

$k_3 = 0$ , нет оттока кадров и забывания информации, что может иметь место для закрытых онлайн-сообществ или временных также закрытых проектных групп и фактически нереально при интенсивной реализации функции обучения;

$l_1 = 0$ , имеющиеся информационные ресурсы никак не связаны с создаваемыми (не способствуют разработке новых информационных материалов);

$l_2 = 0$ , отсутствует межличностное информационное взаимодействие;

$l_3 = 0$ , отсутствует экспертиза информационных ресурсов предоставляемых индивидам, что является весьма тревожным фактором особенно в контексте современного информационного кризиса.

## НЕКОТОРОЕ КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТИОС

Для определения особых точек системы уравнения воспользуемся изоклинами ее вертикалей и горизонталей. Исследование изоклин предоставляет исчерпывающую информацию о количестве и расположении состояний равновесия системы (1), а также зависимости их координат от соотношений коэффициентов, поскольку точки пересечения изоклин горизонталей и вертикалей и будут точками равновесия системы. Кроме того, по результатам исследования можно сформулировать условие неустойчивости решения системы и спрогнозировать темп движения к состоянию равновесия. Результаты такого анализа состояния ТИОС позволят сформировать рекомендации по корректировке параметров системы для более результативного ее функционирования, т.е. обеспечения более интенсивного распространения информации и, возможно, более активного ее продуцирования и обновления.

Обозначим  $P(y_0, y_1)$  и  $Q(y_0, y_1)$  соответственно правые части уравнений системы (1). Уравнения изоклин системы (1) имеют следующий вид:

$$Q(y_0, y_1) + c_1 * P(y_0, y_1) = 0, \quad P(y_0, y_1) + c_2 * Q(y_0, y_1) = 0,$$

где  $c_1$  и  $c_2$  — константы.

При  $c_1 = 0$  и  $c_2 = 0$  получаем соответственно уравнения изоклины горизонталей и вертикалей. Уравнение изоклины горизонталей имеет вид

$$y_1_g(y_0) = -\frac{l_2 * y_0^2}{l_1 - l_3 * y_0}.$$



Это кривая, состоящая из двух ветвей, расположенных в первом координатном углу плоскости с координатными осями  $y_0$ ,  $y_1$  и в отрицательной полуплоскости оси  $y_1$ .

Когда  $l_1 = 0$  — это прямая, совпадающая с осью  $y_1$ , и прямая  $y_{1g}(y_0) = \frac{l_2 * y_0}{l_3}$  (имеющиеся ресурсы не способствуют созданию новых).

Когда  $l_2 = 0$  — это прямая, совпадающая с осью  $y_0$  —  $y_{1g}(y_0) = 0$  (в результате информационного взаимодействия носителей информации ресурсы не создаются, поскольку оно отсутствует).

При  $l_3 = 0$  (отсутствует экспертиза информационных ресурсов) имеем параболу в отрицательной полуплоскости  $y_1$  с вершиной в точке  $(0, 0)$

$$y_{1g} = -\frac{l_2}{l_1} * y_0^2.$$

Одновременное равенство нулю двух коэффициентов системы приводит к невыполнению ее функций, т.е. вырождению среды и не представляет интереса.

Изоклины горизонталей не существует, когда  $y_0 = l_1/l_3$ , т.е. когда количество носителей информации равно отношению индекса воспроизводства информационных ресурсов к индексу их обесценивания.

Кроме того, изоклины горизонталей не существует, когда уравнение  $y_{1g}(y_0) = c$ ,  $c$  — константа, не имеет действительных корней, т.е. дискриминант данного уравнения  $(c^2 * l_3^2 - 4 * l_2 * c * l_1)$  меньше 0, что имеет место при  $0 < c < \frac{4 * l_2 * l_1}{l_3^2}$ . Следовательно, изоклины горизонталей не существует для  $y_1 \in (0, \frac{4 * l_2 * l_1}{l_3^2})$ .

Очевидно, что ни при каких значения коэффициентов системы (1) ветвь изоклины горизонталей из отрицательной полуплоскости  $y_1$  не переместится в положительную.

Уравнение изоклины вертикалей имеет вид

$$y_{1v}(y_0) = y_0 * \frac{-k_2 + y_0 * k_3}{k_1 * (y_0 + 1)}$$

и состоит из двух ветвей. Один экстремум всегда находится в третьем углу плоскости, а второй — в четвертом или в точке  $(0, 0)$  при  $k_2 = 0$ .

Изоклины вертикалей не существует при  $y_0 = -1$  и когда уравнение  $y_{1v}(y_0) = c_1$ ,  $c_1$  — константа, не имеет действительных корней, т.е. дискриминант данного уравнения меньше 0. Рассмотрим, когда это может иметь место. Данный дискриминант имеет вид

$$k_2^2 + 2 * k_2 * c_1 * k_1 + c_1^2 * k_1^2 + 4 * k_3 * c_1 * k_1.$$

Анализ этого выражения дает основания утверждать, что изоклина вертикалей отсутствует для значений

$$y_1 \in \left( \frac{-k_2 - 2 * k_3 + 2 * \sqrt{k_2 * k_3 + k_3^2}}{k_1}, \frac{-k_2 - 2 * k_3 - 2 * \sqrt{k_2 * k_3 + k_3^2}}{k_1} \right).$$

Этот интервал всегда находится в отрицательной полуплоскости  $y_1$ .

Если  $k_1=0$ , то в ТИОС отсутствует взаимодействие индивидов с информационными ресурсами, т.е. они недоступны, и фактически количество носителей информации пополняется только за счет межличностного взаимодействия. Теряется смысл производства информационных ресурсов. В данном случае имеем две изоклины вертикалей:  $y_0 = k_2/k_3$  и  $y_0 = 0$  (если  $k_2/k_3 > l_1/l_3$ , то состояние равновесия находится в первом углу координатной плоскости, иначе — в четвертом, так как  $k_2/k_3 > 0$ ). При  $k_1=0$  первое уравнение системы (1) не зависит от  $y_1$  и легко интегрируется (это уравнение с разделенными переменными). Второе уравнение становится линейным первого порядка.

Если  $k_2=0$  (отсутствует информационное взаимодействие с внешней средой), изоклины вертикалей приобретают следующий вид:

$$y_{1v} = \frac{k_3 * y_0^2}{k_1 * (y_0 + 1)}.$$

При  $k_1=0$  — это прямая  $y_0=0$  (ось  $y_1$ ). При  $k_3=0$ , т.е. нет оттока носителей информации, изоклина вертикалей приобретает вид  $y_1=0$  (ось  $y_0$ ). Изоклина отсутствует при  $y_1=-1$  и когда  $y_1$  принадлежит интервалу  $(-4 * k_3/k_1, 0)$ .

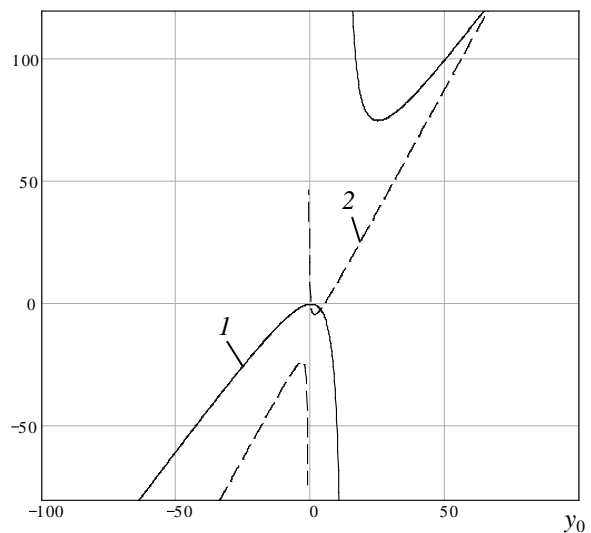


Рис. 1. Пример взаимного расположения графиков изоклин системы (1) при ненулевых коэффициентах: 1 —  $y_{1g}(y_0)$ ; 2 —  $y_{1v}(y_0)$

динат точек пересечения изоклин горизонталей и вертикалей в предположении, что все коэффициенты системы (1) не равны 0.

При  $k_3=0$  (нет оттока носителей информации — отсутствует забывание, смена области деятельности, конкуренция)  $y_{1v} = \frac{k_2 * y_0}{k_1(y_0 - 1)}$ . Изоклина отсутствует при  $y_1=-1$ . При  $k_1=0$  — это ось  $y_1$ . При  $k_2=0$  — ось  $y_0$ .

Графики изоклин вертикалей и горизонталей для значений коэффициентов  $k_1=0,1$ ;  $k_2=1$ ;  $k_3=0,2$ ;  $l_1=2,5$ ;  $l_2=0,3$ ;  $l_3=0,2$  приведены на рис. 1.

Рассмотрим аналитическое представление координат

Разделим обе части уравнения

$$\frac{-l2 * y0^2}{l1 - l3 * y0} = \frac{y0 * (-k2 + k3 * y0)}{k1 * (y0 + 1)}$$

на  $y0$ . Получим квадратное уравнение, детерминант которого больше или равен нулю при любых значениях коэффициентов, а корни имеют следующий вид:

$$y0_{1,2} = \frac{l2 * k1 + l1 * k3 + l3 * k2}{2 * (l3 * k3 - l2 * k1)} \pm \frac{\sqrt{(l2 * k1 + l1 * k3 + l3 * k2)^2 - 4 * l1 * k2 * (l3 * k3 - l2 * k1)}}{2 * (l3 * k3 - l2 * k1)}$$

Третье состояние равновесия:  $y0_3 = 0$ .

Если  $l3 * k3 - l2 * k1 = 0$ , т.е.  $\frac{k3}{k1} = \frac{l2}{l3}$ , то уравнение имеет только два

корня 0 и  $\frac{l1 * k2}{l2 * k1 + l1 * k3 + l3 * k2}$ .

Следовательно, система (1) при указанном соотношении коэффициентов не имеет состояния равновесия в первом углу координатной плоскости, например, при таких значениях:  $k1 = 0,1$ ;  $k2 = 0,3$ ;  $k3 = 0,1$ ;  $l1 = 0,4$ ;  $l2 = 0,2$ ;  $l3 = 0,2$  (рис. 2).

Рассмотрим уравнение асимптоты горизонталей

$$y1_{ag}(y0) = \frac{l2}{l3} y0 + \frac{l1 * l2}{l3^2}$$

и уравнение асимптоты вертикалей

$$y1_{av}(y0) = \frac{k3}{k1} y0 + \frac{-(k2 + k3)}{k1}$$

Точка пересечения асимптот имеет координату

$$y0_s = \frac{k1 * l1 * l2 + k2 * l3^2 + k3 * l3^2}{l3^2 * k3 - k1 * l3 * l2}$$

Легко видеть, что система (1) имеет два состояния равновесия при выполнении условия равенства наклонов асимптот ее изоклин вертикалей и горизонталей. Состояние равновесия в первом углу координатной плоскости будет присутствовать только при выполнении условия  $\frac{k3}{k1} > \frac{l2}{l3}$ , т.е. когда коэффициент наклона асимптоты вертикалей больше коэффициента наклона

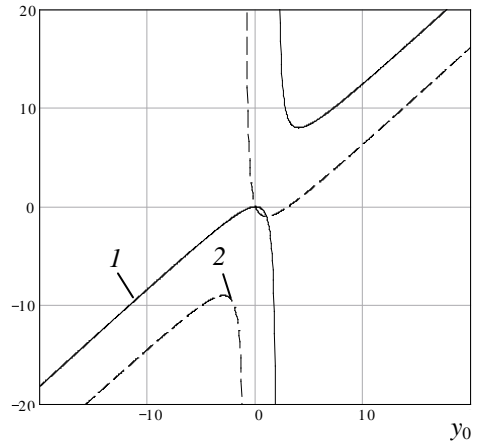


Рис. 2. Пример расположения изоклин системы (1) при совпадении наклонов асимптот изоклин горизонталей и вертикалей: 1 —  $y1_g(y0)$ ; 2 —  $y1_v(y0)$

асимптоты горизонталей. Другими словами, отношение интенсивности утраты носителей информации к индексу доступности информационных ресурсов должно быть больше, чем отношение продуктивности виртуального сообщества к индексу обесценивания информационных ресурсов. Скорость достижения состояния равновесия в первом углу координатной плоскости зависит от того, насколько  $k_3/k_1 > l_2/l_3$ . Можно ввести интенсивность стремления к состоянию равновесия  $i$ , определяемую из уравнения  $k_3/k_1 > i * (l_2/l_3)$ .

В контексте состояний равновесия интерес представляют ситуации, когда  $k_1 = 0$ ;  $k_2 = 0$ ;  $l_1 = 0$ ;  $k_1 = 0$ ,  $l_1 = 0$ ;  $k_2 = 0$ ,  $l_1 = 0$ , поскольку только в этих случаях есть состояния равновесия в первом углу координатной плоскости, отличные от точки (0,0) и осей координат. Рассмотрим их.

При  $k_1 = 0$  состояние равновесия в первом углу будет присутствовать только при выполнении условия  $\frac{k_2}{k_3} > \frac{l_1}{l_3}$ . Интенсивность стремления к равновесию определим как величину, обратную коэффициенту наклона асимптоты горизонталей при  $\frac{k_2}{k_3} > 2 * \frac{l_1}{l_3}$ , т.е. когда координата  $\frac{k_2}{k_3}$  находится левее координаты экстремума изоклины горизонталей. Таким образом,  $i = \frac{l_3}{l_2}$ . В противном случае определим интенсивность как  $-1$ .

При  $k_2 = 0$ , кроме точки (0,0) существует только одно состояние равновесия (при несовпадающих наклонах асимптот изоклин) в первом или третьем углах.

При  $l_1 = 0$ , а также одновременном равенстве нулю  $k_2$  и  $l_1$  вследствие того, что изоклина горизонталей прямая, имеем только два состояния равновесия (0,0) и в первом или третьем углах при несовпадающих наклонах асимптот изоклин. При совпадении наклонов асимптот — одно состояние равновесия (0,0).

При одновременном равенстве нулю  $k_1$  и  $l_1$  точка равновесия всегда расположена в первом углу координатной плоскости, за исключением случая, когда и  $k_2 = 0$  (тогда она сливается с состоянием равновесия (0,0)). В данной ситуации аналогично случаю, когда  $k_1 = 0$ , интенсивность стремления к равновесию определим как величину, обратную коэффициенту наклона асимптоты горизонталей.

## ВЫВОДЫ

Обобщая изложенное выше и опуская тривиальные выводы, сформулируем следующее утверждение: состояние равновесия, отличное от точки (0,0), в первом углу координатной плоскости может быть только одно, причем оно отсутствует, если выполняется равенство  $\frac{k_3}{k_1} \leq \frac{l_2}{l_3}$ . Таким образом, при довольно быстром достижении состояния равновесия имеем отсутствие развития (эволюции) ТИОС. Чтобы его нарушить, необходимо уменьшить интен-

сивность стремления к состоянию равновесия, т.е. изменить координаты, что может являться следствием, например, возникновения новой концепции или смены парадигмы. Согласно исследованиям в области науковедения [12] циклы всплесков научных знаний в среднем составляют 12,5 лет, что подтверждает и процесс развития технологий дистанционного обучения на основе телекоммуникаций. Девяностые годы были этапом их бурного развития, а в настоящее время они подвергаются стандартизации, что свидетельствует о приближении к определенному равновесию. В полной мере эта закономерность относится к ТИОС, если ее функции не ограничиваются только обучением и предоставлением информации.

Использование приведенной выше модели для осуществления мониторинга реальной ТИОС предоставляет средства прогнозирования ее динамики и критерии для сравнения состояния, функционирования и перспектив развития различных ТИОС. Кроме того, данная модель дает возможность осуществлять параметрическое (мультипликативное) управление средой [23].

Более жизнеспособной будем считать среду, у которой значения рассмотренных выше макропеременных в устойчивом состоянии, расположенном в первом углу координатной плоскости, больше. Кроме того, необходимо учесть интенсивность стремления к состоянию равновесия. Поэтому индекс жизнеспособности ТИОС ( $VI$ ) логично ввести следующим образом:

$VI = \frac{y1_s * y0_s}{i}$ , где  $y0_s$  и  $y1_s$  — координаты отличного от нуля состояния

равновесия в первом углу координатной плоскости. Следовательно, должна быть максимизирована величина

$$y0_s = \frac{k1 * l1 * l2 + k2 * l3^2 + k3 * l3^2}{l3^2 * k3 - k1 * l3 * l2},$$

а, следовательно, и  $y1_s$ .

Дальнейшие исследования характера траекторий системы (1) позволят определить ее поведение при различных соотношениях коэффициентов и различных начальных значениях, что послужит основанием для формирования критериев жизнеспособности ТИОС. Более детальное исследование состояний равновесия позволит определить области их притяжения, типы и точные направления траекторий системы.

Целесообразно исследовать систему в предположении, что коэффициенты — это функции времени ( $t$ ). Результаты такого исследования дадут основания для рассмотрения проблемы эффективного функционирования ТИОС, т.е. сохранения оптимального соотношения значений макропеременных  $y0$  и  $y1$  на различных этапах функционирования (становления, развития, обновления парадигмы). С учетом сложной структуры макропеременной  $y0_s$  (множество носителей информации должно быть структурировано соответственно их функции как участников ТИОС [8]) при зависимости коэффициентов от времени вопрос ее максимизации не является однозначным. Кроме того, не менее важен учет фактора запаздывания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карнов В.Э. Эволюционное моделирование в задаче индуктивного вывода. // Информационные технологии. — 1997. — № 6. — <http://rema.44.ru/resurs/papers/em1997/em1997.html>.

2. *Казиев В.М., Казиев К.В.* Эволюционное моделирование некоторых систем с сосредоточенными параметрами // Тр. Междунар. конф. «Дифференциальные уравнения и их приложения». — Самара, 2002. — <http://www.kaziev.by.ru/kaziev/html/articles/samara2/index.shtml>.
3. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. — М.: Прогресс, 1986. — 431 с.
4. *Патюрель Роббер.* Создание сетевых организационных структур. — 1997. — [http://www.ptpu.ru/Issues/3\\_97/15\\_3\\_97.htm](http://www.ptpu.ru/Issues/3_97/15_3_97.htm).
5. *Землянова Л.М.* Сетевое общество, информационализм и виртуальная культура // Вестн. Московского ун-та. Серия 10. Журналистика. — 1999. — № 2. — С. 58-69. — <http://institute.org.ru/library/articles/1008776863.html>.
6. *Давыдов А.* О некоторых социально-политических последствиях становления сетевой структуры общества. — 2001. — <http://institute.org.ru/library/articles/1008944792.html>.
7. *Ahuja Manju K., Carley Kathleen M.* Network Structure in Virtual Organizations. — 2000. — <http://jcmc.huji.ac.il/vol3/issue4/ahuja.html>.
8. *Kolos V.* Structural and Functional Characteristics of Telecommunication Based Informative-Educational Environment. Proceedings of the Forth International Conference «Internet-Education-Science – 2004», September 28 – October 16, 2004, Vinnytsia National State University, Universum-Vinnitsia, 2004. — P. 182–185.
9. *Ахманова О.С.* Словарь лингвистических терминов. — М: Сов. энциклопедия, 1996. — 352 с.
10. *Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С.* Основы информатики. — М.: Наука, 1968. — 358 с.
11. *Иваницкий Г.Р.* На пути второй интеллектуальной революции // Техника кино и телевидения. — 1988. — № 5. — С. 33–40.
12. *Яблонский А.И.* Модели и методы математического исследования науки. Научно-аналитический обзор. — М: Наука, 1977. — 128 с.
13. *Кун Т.* Структура научных революций. — М: Прогресс, 1975. — 288 с.
14. *Акофф Р., Смери Ф.* О целеустремленных системах. — М.: Сов. радио, 1974. — 272 с.
15. *LOM.* LOM working draft v4.1. <http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOMv4.1.htm>.
16. *Финогенов А.Г.* Синергетика информационных процессов в виртуальном образовательном пространстве // Открытое образование. — 2003. — № 3. — С. 47–54.
17. *Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О.* Синергия, конкуренция, хаос в модели взаимодействия двух научных направлений. — Томск: Изд. Томского гос. ун-та, 2002. — 107 с.
18. *Яблонский А.И.* Математические модели в исследовании науки. — М.: Наука, 1986. — 352 с.
19. *Вольтера В.* Математическая теория борьбы за существование. — М.: Наука, 1976. — 286 с.
20. *Короновский А.А., Трубецков Д.И.* Нелинейная динамика в действии. — Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995. — 130 с.
21. *Качак В.В., Мчедлова Е.С.* Модель взаимодействия двух научных направлений с учетом ограничения экспоненциального роста достижений // Изв. высш. учебн. заведений. Прикладная нелинейная динамика. — Саратов: Изд-во Саратовского ун-та. — 1998. — 6, № 2. — С. 85–95.
22. *Баутин Н.Н., Леонтович Е.А.* Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. — М.: Наука, 1990. — 486 с.
23. *Лоскутов А.Ю.* Проблемы нелинейной динамики. II. Подавление хаоса и управление динамическими системами // Вестн. МГУ. Физ. – астр. — 2001. — № 3. — С. 3–21.

Поступила 22.03.2005