

Б.Г. ИЛЬЯСОВ, И.Б. ГЕРАСИМОВА, А.Г. КАРАМЗИНА, Ю.Р. СУЯРГУЛОВА
**МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В НАУЧНОЙ ШКОЛЕ В
РЕЗУЛЬТАТЕ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБМЕНА
ИНФОРМАЦИЕЙ**

Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б., Карамзина А.Г., Суюргулова Ю.Р. Модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процесса обмена информацией.

Аннотация. В статье впервые предложена нелинейная многосвязная мультиагентная модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процесса обмена научной информацией. Выделены три группы агентов (научных сотрудников) как носителей знаний, которые нелинейно взаимодействуют между собой и контролируют свою деятельность по накоплению знаний. При этом рассматриваются два режима процесса обмена научной информацией агентами: свободный (в форме дискуссий) и деловой (в форме выполнения совместного проекта). Предложенные модели носят абстрактно-обобщающий характер, представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих процессы накопления знаний в результате обмена научной информацией с соблюдением сложившихся структурных отношений между агентами научной школы. Данная статья преследует цель раскрытия сущности сложного механизма процесса накопления знаний в научной школе за счет различных форм активного взаимодействия агентов, представляющих собой единство «человек-ЭВМ-база знаний».

Ключевые слова: научная школа, носители знаний, агенты, математическая модель, обмен и накопление знаний, системный подход, самоорганизация, многосвязные процессы.

Ilyasov B.G., Gerasimova I.B., Karamzina A.G., Suyargulova Yu.R. A Model of Knowledge Accumulation in the Scientific School as a Result of Self-Organization of Information Exchange Process.

Abstract. A nonlinear multivariable multi-agent model of knowledge accumulation in the scientific school as a result of self-organization of scientific information exchange process is first proposed in the paper. Three groups of agents (researchers) as knowledge carriers interacting nonlinearly with each other and monitoring their activity on the knowledge accumulation are distinguished. Two modes of agents' scientific information exchange are considered: free mode (in the form of discussion) and business mode (in the form of joint project implementation). The proposed models have the abstract-generalizing character. They represent a system of nonlinear differential equations describing processes of knowledge accumulation as a result of scientific information exchange in compliance with existing structural relations between the agents of the scientific school. The aim of this paper is to disclose the complex mechanism of knowledge accumulation in the scientific school through various forms of active interaction of the scientific school agents representing the unity of the "man-computer-knowledge base".

Keywords: scientific school; knowledge carriers; mathematical model; exchange and accumulation of knowledge; systematic approach; self-organization; multiply connected processes.

1. Введение. Анализ проблемы развития науки является объектом изучения многих исследователей. Особый интерес к этой проблеме возрос вследствие научно-технических революций во многих обла-

стях знаний (информатика, биология, биохимия, робототехника, телекоммуникационные и информационные технологии, системы безопасности и т.д.). При этом под знанием понимается продукт общественной, материальной и духовной деятельности людей, выраженный в какой-либо форме (знаковой, модельной, образной, письменной, словесной и т.п.), которая отражает объективные свойства материального мира, общества. Знания обладают свойством преобразования и перехода из одних форм представления в другие, более понятные и доступные исследователю. Знание обладает свойством сохранения его (база знаний), передачи, обмена, накопления и развития. Эти свойства знания являются базой и опорой для последующей деятельности человечества. В каждой области знаний имеются свои общепринятые условные единицы измерения знаний, его объема и качества. При этом знания, накопленные в течение длительного времени и реализованные в какой-либо форме, делаются на отдельные поколения (например, поколения летательных аппаратов в технике). Переход от одного поколения знаний к другому и определяет рост накопления знаний. Например, никто не сомневается в том, что темпы накопления знаний во второй половине XX века были значительно выше, чем в XIX веке.

Помогая человеку использовать в своей практической деятельности все новые достижения научного познания, наука вносит в жизнь общества элемент динамичности, революционизирует общественную практику. На современном уровне развития науки получение принципиально новых знаний дается все труднее и характеризуется возрастанием трудоемкости и стоимости познавательного процесса.

Анализируя работы отечественных исследователей в области науковедения, философии науки (теории познания) можно выделить три направления исследований.

Первое направление связано с проблемами развития науки и организации науки в России, построением различных моделей развития науки и выявления закономерностей [2, 3]. В работах [1, 4, 5, 6, 21, 22] рассматривается общая структура науки, структура научного знания, особенности современного этапа развития науки, динамика науки. В работе [7] в основном рассматривается математическая модель динамики фундаментальной науки в зависимости от политики финансирования процесса развития науки, оценивается скорость роста стоимости науки и стабилизация уровня мирового продукта, оспаривается идея о том, что наука не является единственным методом познания.

Во втором направлении изучаются малые научные группы, их структура. В работе проф. И.Д. Софронова [17] рассматриваются модели архитектуры научного коллектива и вопросы распределения при-

оритета и вознаграждений в моделях творческого коллектива в советский период развития науки. В работе [8] рассматривается структура и взаимодействие малых научных групп при выполнении проекта, рассматривается влияние на производительность научного коллектива индивидуальных характеристик агентов, таких как деловая активность, уровень интеллекта, уровень эмоциональности.

Третье направление носит исторический характер и связано с воспоминаниями о научных школах, научных руководителях и их выдающихся результатах. В работе [9], например, излагается история создания вычислительной техники и перспектив ее развития и т.д.

Однако среди этих трех направлений нет работ, посвященных изучению вопросов о внутреннем взаимодействии коллектива при получении знаний, не раскрываются механизмы формирования и накопления знаний. По нашему мнению, научные школы должны быть самостоятельным предметом изучения науковедения.

Моделирование процессов накопления и обмена знаниями в научных школах позволяет выявить и оценить проявляющийся синергетический эффект. Синергетика позволяет установить связь и взаимодействие между микро- и макропроцессами, накоплением и обменом знаниями на различных организационных уровнях [18-20]. Основная идея синергетики: сложные системы изменяются в результате изменений, происходящих на микроуровне, но они недоступны непосредственному наблюдению, а доступен наблюдению их совокупный результат, который описывается управляющими параметрами системы. Авторы статьи придерживаются такого же мнения, считая, что малые знания агентов в процессе общения друг с другом системно сливаются, интегрируются в знания более высокого уровня.

Заметим, что слишком большой объем накопленной фактической информации в различных научных направлениях делает этот процесс многомерным, а относительная сложность связи между отдельными направлениями делает затруднительным применение описательных и чисто содержательных подходов к анализу процессов развития конкретного научного направления.

В силу сказанного, представляет интерес изучение процесса развития научных школ как эволюции многомерных многосвязных нелинейных самоорганизующихся систем, осуществляемой на качественном абстрактном уровне. Справедливость этого подхода основана на том, что отсутствуют точные количественные характеристики, отражающие содержание научного знания, ценность научного результата и продуктивность научного труда. Практически невозможно установить связь между количеством научных публикаций и качеством

научной деятельности [4, 12, 13, 16]. Однако сам процесс накопления знаний подчиняется объективным системным законам. При этом, по-видимому, можно говорить и о темпах накопления некоторого объема знаний за определенный период времени.

Далее рассмотрим процесс развития научной школы, опираясь не столько на количественный анализ, сколько на качественную сторону интерпретации внутренних механизмов функционирования и развития научной школы за счет обмена и накопления знаний между различными агентами (группами) как носителями знаний в результате их обмена научными знаниями.

2. Структура научной школы. Научная школа (НШ) рассматривается как человеко-машинная система, состоящая из множества взаимосвязанных и взаимодействующих агентов, представляющих собой триаду «человек-ЭВМ-база знаний», образующих единое целое. Выделим три группы (прослойки) агентов, отличающихся качеством и уровнем профессиональных знаний (компетенциями). При этом НШ может образовывать из этих групп, например, иерархическую (трехуровневую) организационную структуру.

Научная школа может рассматриваться как множество взаимосвязанных процессов деятельности агентов, направленной либо на обмен знаниями (обучение, семинары, круглые столы, конференции, симпозиумы и т.п.), либо на достижение определенной цели (решение проблемы, реализацию проекта, разработку технологии или конструкции, написание монографий).

Первый режим работы НШ называется свободным (обучающим, коммуникационным), второй — научно-деловым (активным, трансляционным) [21].

Развитие НШ рассматривается как процесс накопления знаний, полученных в результате совместных действий агентов и как процесс использования этих знаний при достижении поставленных целей. Особенность НШ при университетах заключается в том, что агенты выполняют двойную роль: с одной стороны, они участвуют в образовательном процессе, а с другой стороны, они осуществляют научную деятельность.

Таким образом, выделены три группы агентов как носителей и накопителей знаний:

- N_1 — агенты, отвечающие за накопление знаний на уровне магистрантов, аспирантов, ассистентов и младших научных сотрудников;
- N_2 — агенты, отвечающие за накопление знаний на уровне доцентов, старших научных сотрудников и докторантов;

– N_3 — агенты, отвечающие за накопление знаний на уровне докторов наук, профессоров, ведущих и главных научных сотрудников.

Учитывая, что в результате научно-технического прогресса идет рост новых знаний, то процесс накопления знаний является для всех трех агентов вполне естественным и закономерным.

Агенты как носители специализированных знаний взаимодействуют между собой, самостоятельно осмысливают полученные новые знания, принимают решения и контролируют свою деятельность (процесс самоорганизации). Графически взаимодействие трех типов агентов представлено на рисунке 1.

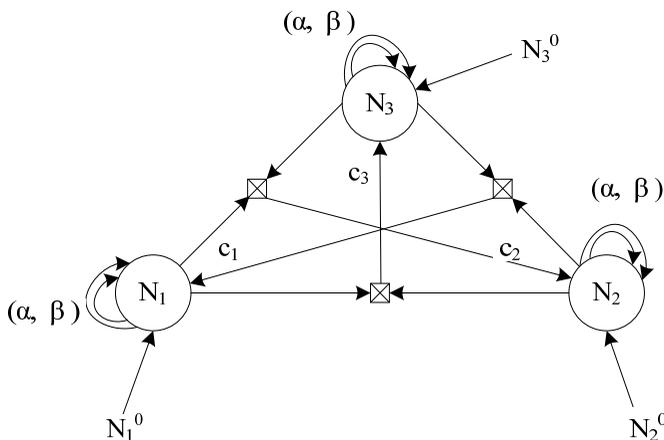


Рис. 1. Нелинейная модель взаимодействия различных агентов N_i как носителей знаний

Накопление знаний условно можно рассматривать как результативность научной деятельности агентов, выраженную в различной форме (например, 12 публикаций в год, получение 3 патентов в год, написание 1 монографии в год, 4 доклада на международной конференции, подготовка 2 магистров и 1 кандидата наук в год и т.д.), т.е. как накопление определенного типа и объема знаний за определенный период времени. Более объективным будет оценка накопления знаний в научной школе в процессе выполнения средне- и крупномасштабных научных проектов за некоторый отрезок времени. Здесь проект рассматривается в пространственно-временном плане как множество задач, требующих использование не только старых, но и синтез и применение новых знаний, например, в виде инновационных технологий.

Процесс обмена знаниями в научной школе происходит в определенные промежутки времени (например, на интервале рабочего дня), поэтому его можно считать непрерывным дискретно-временным процессом.

Таким образом, целесообразно изучать закономерности процесса накопления знаний в научной школе в результате обмена знаниями между агентами как тремя типами носителей знаний.

3. Нелинейная многосвязная мультиагентная модель научной школы в режиме свободного обмена информацией. В статье идет речь об абстрактных моделях накопления знаний в результате обмена научной информацией между агентами. В этом случае нельзя говорить о конкретной научной школе и конкретном типе агента. Эта модель есть результат многолетнего обобщения процессов получения знаний в малых научных группах как основе научной школы. Адекватность (вариабельность) предлагаемых моделей не должна вызывать сомнений, т.к., с одной стороны, все участники процесса являются представителями любой научной школы и имеют единую структуру и их отношения основаны на традиционной структуре научной школы (учитель–ученик), а с другой стороны, эксперименты их взаимодействия проведены многократно мировым сообществом ученых в виде научно-технических конференций, семинаров и т.д. Адекватность процессов научного общения реальным процессам основана на социологических методах наблюдения (простом и включенном), анализе документаций (статей, диссертаций и т.п.), многолетнем опыте руководства и проведения предзащит и защит диссертаций, организации, проведения и участия на многочисленных научно-технических конференциях различного уровня, круглых столах, научных дискуссиях, а также на методе интервью и экспертных оценок, данных специалистами в той или иной области знаний [10, 11].

В научной литературе в области науковедения, философии, социологии не описана специфика взаимодействия агентов в научной школе. В данной статье процесс научного общения представляется в виде трехсвязного процесса с участием трех типов агентов. Рассмотрим нелинейную модель НШ в режиме свободного взаимодействия агентов. При этом сделаны следующие допущения:

– каждая группа носителей знаний накапливает знания самостоятельно в соответствии со своим нелинейным механизмом самоорганизации. При этом нелинейные механизмы самоорганизации представляют собой суммарное действие положительной (в линейной форме) и отрицательной обратной связи (в квадратичной или кубической форме). Такая форма самоорганизации (самоуправления) часто встречается в синергетике [14, 15];

– отношения двух типов носителей знаний проявляются к третьему типу знаний в нелинейной форме (например, в виде произведения), т.е. два типа групп, объединяясь в коалицию, помогают повысить интенсивность освоения знаний третьей группе. Такая форма отношений встречается, например, в дискуссиях и также является формой самоорганизации.

В связи с вышесказанным, нелинейная модель НШ в режиме свободного взаимодействия (обмена знаниями) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{N}_1 = \alpha_1 N_1 - \beta_1 N_1^2 + c_1 N_2 N_3 + N_1^0, \\ \dot{N}_2 = \alpha_2 N_2 - \beta_2 N_2^2 + c_2 N_1 N_3 + N_2^0, \\ \dot{N}_3 = \alpha_3 N_3 - \beta_3 N_3^2 + c_3 N_1 N_2 + N_3^0, \end{cases} \quad (1)$$

где коэффициент α_i ($i=1,2,3$) отражает мотивацию i -ой группы увеличить интенсивность накопления знаний, β_i — отражает силу стабилизации процесса накопления знаний, при этом условие статической устойчивости в автономном режиме:

$$N_i > \frac{\alpha_i}{\beta_i}.$$

\dot{N}_i — скорость действия агентов по обмену и накоплению знаний;

N_i^0 — агент с начальным уровнем накопленных знаний по конкретному вопросу в конкретной области знаний при его работе в автономном режиме (условно приравнивается к 1).

Значения коэффициентов α_i и β_i для каждого агента определяется им самим (методом проб и ошибок). Здесь коэффициент c_i отражает долю нелинейного влияния остальных двух групп в виде положительной обратной связи ($c_i > 0$), способствующей росту знаний i -го агента. Отрицательная обратная связь ($c_i < 0$) тормозит процесс накопления знаний и здесь не рассматривается. В силу природы выделенных групп: $c_1 > c_2 > c_3$. Эта цепь неравенств отражает реальную закономерность взаимодействия между агентами с учетом принятой иерархии качества их знаний: «аспирант-доцент-профессор». Конкретные значения для каждой научной школы определяются экспериментально либо экспертным путем. Набор этих значений отражает мотивацию агентов оказывать помощь друг другу в ускорении процесса накопле-

ния знаний в научной школе. Варьируя параметры (α_i, β_i, c_i) агентов можно получить достаточно высокую интенсивность накопления знаний.

При отсутствии нелинейного влияния ($c_i=0$) между агентами и наличии высокой степени самоорганизации ($\alpha_i = 1, \beta_i = 2$) система (1) является устойчивой и не превышает начальный уровень $N_i^0 = 1$ накопленных знаний каждым агентом в автономном режиме. Накопление знаний во всех трех группах отсутствует.

Уменьшение коэффициентов β_i повышает уровень накопленных знаний в автономном режиме (при $c_i=0$). Например, при условии $\alpha_i = 1, \beta_i = 0,5$ в системе уровень самостоятельно накопленных знаний каждым агентом в 2,7 раз превышает начальный. Это свидетельствует о том, что при высоком уровне самоорганизации, агенты могут индивидуально накапливать значительный объем знаний, опираясь на дополнительные источники знаний (библиотека, Internet).

Увеличение положительного нелинейного взаимного влияния агентов приводит к росту уровня накопления знаний. Система, например, устойчива и достигает относительно высокой интенсивности накопления различных типов знаний при условии, что $\alpha_i = 1, \beta_i = 2$ и $c_1 = 2, c_2 = 1, c_3 = 0,5$. В этом случае объем накопления знаний первой группой агентов превышает начальный ($N_i^0 = 1$) в 1,9 раза, второй группой — в 1,6 раз и третьей — в 1,4 раз (рисунок 2). Следовательно, процесс свободного обмена знаниями на семинарах, свободных дискуссиях создает эффект эмерджентности, т.е. интегрального (системного) накопления знаний в каждой группе агентов, а следовательно, и в научной школе в целом.

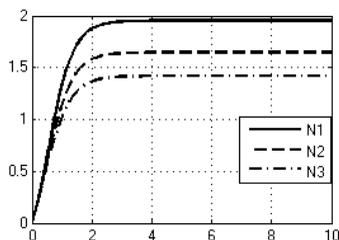


Рис. 2. Интегральное (системное) накопление знаний

Изменение значения коэффициента положительных нелинейных отношений c_i между агентами приводит к аналогичному изменению:

уменьшение положительных значений коэффициентов приводит к уменьшению накопления знаний, а их увеличение — к повышению. При одновременном уменьшении коэффициентов β_i и c_i следующим образом: $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 1$, $c_1 = 0,5$, $c_2 = 0,25$, $c_3 = 0,1$ накопление знаний возрастает: первая группа агентов увеличивает знания, превышая начальный уровень в 2,2 раза, вторая группа агентов — в 2 раза и третья — в 1,8 раз.

Причиной потери устойчивости и возникновения колебательно-го движения может служить наличие чистого запаздывания при обмене знаниями. Согласно [14] чистые временные запаздывания в передаче информации можно классифицировать по двум типам: так называемое запаздывание в нелинейных связях и собственное запаздывание в формировании сигнала стабилизации. Рассмотрим влияние чистого запаздывания в нелинейном канале обратной связи накопления знаний. Собственное чистое запаздывание обуславливается тем, что восприятие и усвоение информации по стабилизации каждым агентом идет не мгновенно, а с некоторым запаздыванием во времени. Учитывая вышесказанное, нелинейную модель взаимодействия агентов в режиме свободного взаимодействия можно представить в виде:

$$\dot{N}_i(t) = \alpha_i N_i(t) - \beta_i N_i^2(t - \tau_i) + c_i N_j(t) N_k(t) + N_i^0, \quad (2)$$

где $i, j, k = 1, 2, 3$; $i \neq j \neq k$,

τ_i — собственное чистое запаздывание в действии i -го агента по нелинейной стабилизации темпов накопления знаний.

При значении коэффициентов $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 2$, $c_1 = 2$, $c_2 = 1$, $c_3 = 0,5$ и величине чистого запаздывания $0 \leq \tau_i \leq 0,13$ с система является устойчивой. В таком режиме процесс накопления знаний агентами превышает начальный уровень и характеризуется перерегулированием. Объем накопления знаний первой группой агентов в 1,4 раза превосходит уровень автономного режима, второй группой — в 1,2 раза, третьей группой — в 1,1 раз. Процессы обмена знаниями в виде затухающих колебаний в системе наблюдаются при значении чистого запаздывания $0,14 \text{ с} \leq \tau_i \leq 0,17 \text{ с}$. С увеличением в указанных пределах значений чистого запаздывания повышается частота колебаний.

При чистом запаздывании $0,18 \text{ с} \leq \tau_{\text{кр}} \leq 0,19 \text{ с}$ в системе (2) наблюдается образование устойчивых предельных циклов. Это свидетельствует о том, что коллектив не пришел к единому мнению, в связи с этим проблема остается нерешенной до конца. Процесс накопления

знаний на уровне агентов N_1 в виде переходного процесса и фазового портрета (N_1, \dot{N}_1) представлены на рисунке 3.

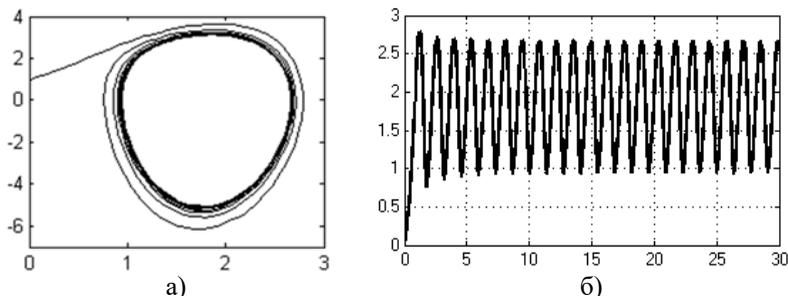


Рис. 3. Автоколебательный процесс в системе в режиме свободного взаимодействия с запаздыванием в формировании сигнала стабилизации при $\tau_{икр} = 0,18$ с: (а) фазовый портрет N_1 ; (б) график переходного процесса

Аналогичный процесс наблюдается и в других группах агентов как носителей знаний. Дальнейшее увеличение чистого запаздывания приводит систему в статически неустойчивое состояние (происходит «срыв» системы).

Уменьшение значения коэффициента положительных нелинейных отношений c_i между агентами увеличивает до некоторого значения запас устойчивости процессов накопления знаний. При одновременном изменении коэффициентов β_i и c_i ($\alpha_i = 1, \beta_i = 1, c_1 = 0,5, c_2 = 0,25, c_3 = 0,1$) увеличивается критическое значение чистого запаздывания: затухание колебаний наблюдаются при $\tau_{икр} \leq 0,3$ с, предельные циклы образуются при $0,31с \leq \tau_{икр} \leq 0,33с$. Хаотическое движение процессов накопления знаний наблюдается при $\tau_{икр} = 0,34с$ (рисунок 4).

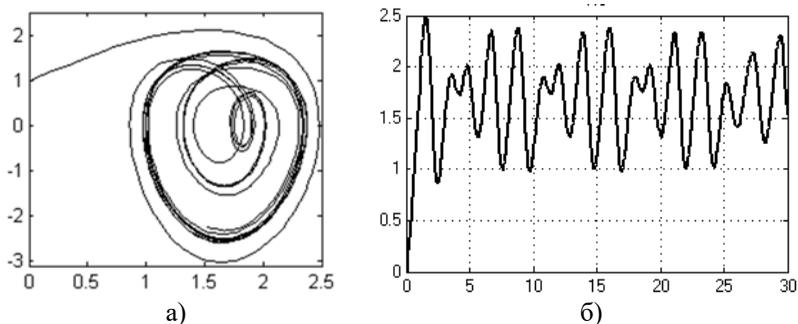


Рис. 4. Хаотическое движение системы в режиме свободного взаимодействия при наличии запаздывания в формировании сигнала стабилизации, равном $\tau_{кр}=0,34c$: (а) фазовый портрет N_2 ; (б) график переходного процесса

Процессы накопления знаний становятся статически неустойчивыми при дальнейшем увеличении значения чистого запаздывания. Таким образом, в режиме свободного обмена знаниями при правильной организации взаимодействия агентов и их высокой самоорганизации можно достичь высокого уровня накопления знаний как каждой группой агентов, так и научной школой в целом.

4. Нелинейная многосвязная мультиагентная модель накопления знаний в научной школе в режиме делового взаимодействия. В деловом (активном) режиме взаимодействия агенты как носители знаний N_i используют свои знания, накапливаемые в нелинейном процессе обмена информацией для решения научной проблемы, выполнения научного проекта. Мультипликативная форма подчеркивает равноценность используемых знаний, накопленных всеми тремя группами агентов. Без знания любого агента проект не может быть выполнен.

Рассмотрим нелинейную систему самоорганизации в виде введения положительных линейных и отрицательных квадратичных обратных связей для всех агентов и для агента-накопителя знаний.

$$\begin{cases} \dot{N}_1 = \alpha_1 N_1 - \beta_1 N_1^2 + c_1 N_2 N_3 + \lambda_1 Z + N_1^0, \\ \dot{N}_2 = \alpha_2 N_2 - \beta_2 N_2^2 + c_2 N_1 N_3 + \lambda_2 Z + N_2^0, \\ \dot{N}_3 = \alpha_3 N_3 - \beta_3 N_3^2 + c_3 N_1 N_2 + \lambda_3 Z + N_3^0, \\ \dot{Z} = \alpha_4 Z - \beta_4 Z^2 + N_1 N_2 N_3, \end{cases} \quad (3)$$

где \dot{Z} — скорость действия агента по накоплению интегральных знаний для выполнения проекта.

Z — агент, отвечающий за объем коллективно накопленных интегральных системных знаний, необходимых для выполнения проекта.

λ_i — коэффициенты положительной обратной связи, оказывающие влияние на процесс накопления знаний i -ым агентом. Величина $\lambda_i Z$ — положительный эффект, способствующий увеличению уровня накопления знаний i -ым агентом при успешном выполнении проекта, при этом $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ в силу организации структуры взаимоотношений сформированных групп агентов.

Рассмотрим влияние эффекта самоорганизации и взаимных контактов на процессы накопления знаний в системе.

Отсутствие накопления знаний у i -го агента ($N_i = N_i^0 = 1$) наблюдается при отсутствии влияния нелинейных отношений ($c_i = 0$) между агентами, положительного вклада $\lambda_i Z$ ($\lambda_i = 0$) и при наличии самоорганизации $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 2$. Объем коллективно накопленных знаний Z также выходит на уровень, равный 1. Примем $N_i = 1$ и $Z = 1$ за базовый уровень. На основе результатов моделирования можно сделать вывод о том, что если в системе каждый агент работает самостоятельно вне коллектива, то накопление знаний в коллективе будет определяться только объемом знаний его членов и не использоваться при их совместной (коллективной) работе.

Одновременное увеличение c_i и λ_i ($\alpha_i = 1, \beta_i = 2, c_1 = 2, c_2 = 1, c_3 = 0,5, \lambda_1 = 2, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 0,5$) приводит к росту накопления знаний агентами в несколько раз по сравнению с базовым: N_1 в 3,4 раза превосходит начальный уровень, N_2 — в 2,7 раз, N_3 — в 2,2 раза, а объем коллективно накопленных знаний Z — в 3,45 раза, получаемый в результате решения уравнения (4):

$$2Z^2 - Z - 20,2 = 0. \quad (4)$$

Уменьшение значения коэффициентов нелинейных отношений c_i между агентами уменьшает объем накапливаемых знаний. Уменьшение значения коэффициентов обратной связи λ_i также снижает уровень накопления знаний. Одновременное уменьшение значений коэффициентов c_i и λ_i приводит к более интенсивному снижению уровней накопления знаний. При уменьшении коэффициента $\beta_i = 1$ и неизменных значениях остальных коэффициентов ($\alpha_i = 1, c_1 = 2, c_2 = 1, c_3 = 0,5, \lambda_1 = 2, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 0,5$) наблюдается неустойчивость системы. Изменение распределения параметров следующим образом: $\alpha_i = 1, \beta_i = 1, c_1 = 0,5, c_2 = 0,25, c_3 = 0,1, \lambda_1 = 0,5, \lambda_2 = 0,25, \lambda_3 = 0,1$ приводит к устойчивости системы и изменениям в объемах накопления знаний. Накопление знаний на уровне первого типа агентов N_1 превосходит в 2,9 раза базовый, N_2 — в 2,5 раз, N_3 — в 2 раза, а объем коллективно накопленных знаний Z — в 4,4 раза, получаемый в результате решения уравнения (5):

$$Z^2 - Z - 14,5 = 0. \quad (5)$$

Отрицательное влияние результатов выполнения проекта в виде отрицательной обратной связи ($\lambda_i < 0$) уменьшает значения накопления знаний у N_i и Z , т.е. затормаживает процессы накопления знаний у всех представленных агентов.

Нестабильность процессов накопления наблюдается при высокой интенсивности взаимных контактов агентов (c_i) и сильной положительной обратной связи по выполнению проекта (λ_i).

Пусть в режиме делового взаимодействия дополнительно накладывается ограничение в виде запаздывания на процесс интегрального накопления знаний в научной школе при выполнении проекта:

$$\dot{Z}(t) = \alpha_4 Z(t) - \beta_4 Z^2(t - \tau_4) + \prod_{i=1}^3 N_i(t). \quad (6)$$

Здесь τ_4 — собственное чистое запаздывание в стабилизации процесса интегрального накопления знаний при выполнении проекта.

Небольшое запаздывание $\tau_{кр} = 0,1с$ в обратных связях стабилизации при условии, что коэффициенты принимают следующие значения $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 2$, $c_1 = 2$, $c_2 = 1$, $c_3 = 0,5$, $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 0,5$, приводит к колебаниям переходных процессов с образованием предельных циклов (рисунок 5). В этом случае не представляется возможным успешно выполнить проект, а также эффективно накапливать знания отдельными агентами.

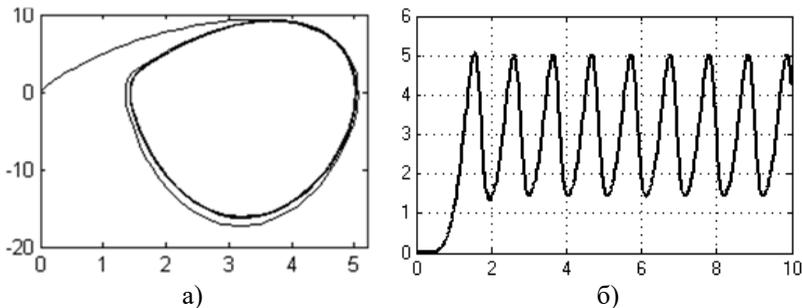


Рис. 5. Автоколебательный процесс в системе при $\tau_{кр}=0,1с$: (а) фазовый портрет Z ; (б) график переходного процесса

Увеличение чистого запаздывания приводит к неустойчивости системы.

Устойчивыми процессы накопления знаний становятся при условии: $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 1$, $c_1 = 0,5$, $c_2 = 0,25$, $c_3 = 0,1$, $\lambda_1 = 0,5$,

$\lambda_2 = 0,25$, $\lambda_3 = 0,1$; перерегулирование процессов наблюдается при $0,12c \leq \tau_{икр} \leq 0,15c$, затухание колебаний — при $0,16c \leq \tau_{икр} \leq 0,2c$ (с увеличением чистого запаздывания повышаются частота и амплитуда колебаний). Дальнейшее повышение чистого запаздывания в накопленные знания $\tau_{икр} > 0,2c$ приводит систему в статически неустойчивое состояние («срыв»).

Таким образом, в режиме делового взаимодействия между агентами можно достичь устойчивого накопления интегральных знаний как в целом, так и для каждого носителя знаний (агента) в частности.

5. Заключение. В представленной статье впервые рассмотрена проблема изучения в абстрактной форме многомерных взаимосвязанных нелинейных процессов накопления знаний в результате самоорганизации и обмена информацией между агентами научной школы, в которой агенты представлены в виде системной триады: «человек-ЭВМ-база знаний», т.е. как элементы человеко-машинной системы. По результатам исследований можно отметить следующее:

1) Предложена нелинейная динамическая многоагентная мультиагентная модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процессов научного обмена информацией между агентами как носителями различных типов знаний.

2) Абстрактная модель взаимодействия агентов, представленная в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, позволяет избежать системных ошибок (в виде влияния отрицательных результатов выполнения проекта на продуктивность агентов) и повысить эффективность процессов накопления знаний как в научной школе, так и у агентов за счет системной организации нелинейного группового взаимодействия агентов друг с другом, т.е. как организации положительной коллективной обратной связи, так и за счет правильного сочетания отрицательной и положительной обратной связи при самоорганизации каждого агента.

3) Сильное коллективное давление агентов друг на друга (коэффициенты (c_i)), а также стремление каждого агента (коэффициенты $\alpha_i > 0$) получить быстрее и больше новые знания могут привести к неустойчивости («срыву») процесса накопления знаний или к заикливанью процесса (переход к длительным безрезультатным дискуссиям)). Эти процессы наблюдаются и в реальной жизни.

4) Выявлено влияние чистого запаздывания в действии i -го агента по нелинейной стабилизации темпов накопления знаний. Показано, что при различных значениях величины чистого запаздывания в системе могут возникнуть как устойчивые, так и неустойчивые режи-

мы, а также автоколебания. Это еще раз подчеркивает сложность многосвязных динамических процессов накопления знаний агентами научной школы при их нелинейном взаимодействии и слабой самоорганизации этого процесса.

Литература

1. Кун Т. Структура научных революций // М.: АСТ Москва. 2009. 320 с.
2. Служба в двух академиях. Юсупов Рафаэль Мидхатович: к 80-летию со дня рождения и 55-летию науч.-пед. деятельности: сост. Д. В. Бакурадзе, Р.И. Белова // СПб.: Анатолия. 2014. 272 с.
3. Юсупов Р.М. Наука и национальная безопасность. 2-е издание переработанное и дополненное. СПб.: Наука, 2011. 369 с.
4. Лебедев С.А. Российская наука и образование: проблемы и перспективы // Высшее образование в России. 2012. № 11. С. 82–89.
5. Лебедев С.А. Философия науки: 5-е изд., перераб. и доп // М.: Академический проект. Альфа Матер. 2007. 731 с.
6. Лешкевич Т.Г. Философия науки: Учеб. Пособие // М.: ИНФРА-М, 2010. 272 с.
7. Панов А.Д. Макроэволюция и наука // Научно-исследовательские исследования. 2013. С. 225–256.
8. Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б., Мухамедрахимова Л.Н. Особенности моделирования социальной творческой личности // Вестник УГАТУ. 2014. Вып. 18. № 1(62). С. 156–160.
9. Васильев В.И., Котенко П.С. История и перспективы развития вычислительной техники: 2-ое издание, переработанное и дополненное // М.: Машиностроение, 2013. 496 с.
10. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова // М.: Высш. шк. 2004. 616 с.
11. Граждан В.Д. Социология управления: учебник: 2-е изд., перераб. // М.: КНОРУС. 2009. 512 с.
12. Шкляр М. Ф. Основы научных исследований: учебное пособие: 5-е изд. Москва: Дашков и К. 2014. 244 с.
13. Бажанов В.А. Рефлексия в современном науковедении // Рефлексивные процессы и управление. 2002. Вып. 2. № 2. С. 73–89.
14. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичков Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем: 2-е изд. перераб. и доп. // М.: Издательство Физико-математической литературы. 2005. 212 с.
15. Яблонский А.И. Модели и методы исследования науки // М.: Эдуториал УРСС. 2001. 400 с.
16. Шарабчиев Ю.Т. Аттестация научных кадров: количество и качество научных публикаций и результатов научной деятельности // Медицинские новости. 2015. № 1. С. 21–32.
17. Софронов И.Д. Избранные труды. Математическое моделирование и вычислительные системы // Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2005. 564 с.
18. Безручко Б.П. и др. Путь в синергетику. Экскурсы в десяти лекциях // М.: КомКнига. 2010. 304 с.
19. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент // М.: Либроком. 2015. 310 с.
20. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Хаос и структуры // М.: Либроком. 2014. 210 с.
21. Кохановский В.П. Основы философии науки. Учебное пособие для аспирантов: изд. 3-е. // Ростов-на-Дону: Феникс. 2006. 608 с.
22. Основы науковедения // Москва: «Наука». 1985. 431 с.

References

1. Kun T. *Struktura nauchnyh revolucij* [Structure of Scientific Revolutions]. M.: AST Moskva. 2009. 320 p. (In Russ.).
2. *Sluzhba v dvuh akademijah. Jusupov Rafajel' Midhatovich: k 80-letiju so dnja rozhdenija i 55-letiju nauch.-ped. dejatel'nosti* [Service in the two academies. Rafael Jusupov Midhatovich: the 80th anniversary and 55th anniversary of scientific-pedagogical activity] SPb.: Anatolija, 2014. 272 p. (In Russ.).
3. Jusupov R.M. *Nauka i nacional'naja bezopasnost'* [Science and National Security]. SPb.: Nauka. 2011. 369 p. (In Russ.).
4. Lebedev S.A. [Russian science and education: problems and prospects]. *Vysšee obrazovanie v Rossii – Higher education in Russia*. 2012. vol. 11. pp. 82–89. (In Russ.).
5. Lebedev S.A. *Filosofija nauki* [Philosophy of science]. M.: Akademicheskij proekt, Al'ma Mater, 2007. 731 p. (In Russ.).
6. Leshkevich T.G. *Filosofija nauki: Ucheb. Posobie* [Philosophy of science]. M.: INFRA-M. 2010. 272 p. (In Russ.).
7. Panov A.D. [Macroevolution and Science]. *Naukovedcheskie issledovanija – Scientific research*. 2013. pp. 225–256. (In Russ.).
8. Il'jasov B.G., Gerasimova I.B., Muhamedrahimova L.N. [Features of simulation social creative personality]. *Vestnik UGATU – Vestnik USATU*. 2014. Issue 18. vol. 1(62). pp. 156–160. (In Russ.).
9. Vasil'ev V.I., Kotenko P.S. *Istorija i perspektivy razvitija vychislitel'noj tehniki* [History and perspectives of computer technology development]. M. Mashinostroenie 2013. 496 p. (In Russ.).
10. *Sistemnyj analiz i prinjatje reshenij: Slovar'-spravochnik. Pod red. V.N. Volkovoj, V.N. Kozlova* [System Analysis and Decision Making: Reference Dictionary. Edited by V.N. Volkova, V. N. Kozlov]. M.: Vyssh. shk. 2004. 616 p. (In Russ.).
11. Grazhdan V.D. *Sociologija upravlenija: uchebnik* [Sociology of Management: tutorial]. M.: KNORUS. 2009. 512 p. (In Russ.).
12. Shkljar M.F. *Osnovy nauchnyh issledovanij: uchebnoe posobie* [Basics of research]. Moskva: Dashkov i K. 2014. 244 p. (In Russ.).
13. Bazhanov V.A. [Reflexion in the modern science of science]. *Refleksivnye processy i upravlenie – Reflective processes and management*. 2002. vol. 2. no. 2. pp. 73–89. (In Russ.).
14. Trubeckov D.I., Mchedlova E.S., Krasichkov L.V. *Vvedenie v teoriju samoorganizacii otkrytyh sistem* [Introduction to the theory of self-organizing open systems]. M.: Izdatel'stvo Fiziko-matematicheskoj literatury. 2005. 212 p. (In Russ.).
15. Jablonskij A.I. *Modeli i metody issledovanija nauki* [Models and methods research of science]. M.: Jeditorial URSS. 2001. 400 p. (In Russ.).
16. Sharabchiev Ju.T. [Certification of scientific personnel: the quantity and quality of scientific publications and results of scientific activity]. *Medicinskie novosti – Medical news*. 2015. vol. 1. pp. 21–32. (In Russ.).
17. Sofronov I.D. *Izbrannye trudy. Matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nye sistemy* [Selected works. Mathematical modeling and computational systems]. Sarov: FGUP «RFJaC-VNIIEF». 2005. 564 p. (In Russ.).
18. Bezruchko B.P., et al. *Put' v sinergetiku. Jekskurs v desjati lekcijah* [Path in synergetics. Excursus into ten lectures]. Moscow. KomKniga. 2010. 304 p. (In Russ.).
19. Malineckij G.G. *Matematicheskie osnovy sinergetiki. Haos, struktury, vychislitel'nyj jeksperiment* [Mathematical foundations of synergetics. Chaos, structure, computing experiment]. M.: Librokom. 2015. 310 p. (In Russ.).
20. Trubeckov D.I. *Vvedenie v sinergetiku. Haos i struktury* [Introduction to the synergetics. Chaos and structures]. M.: Librokom, 2014. 210 p. (In Russ.).

21. Kohanovskij V.P., et al. *Osnovy filosofii nauki. Uchebnoe posobie dlja aspirantov* [Fundamentals of the philosophy of science. Study guide for graduate students]. Rostov-na-Donu: Feniks. 2006. 608 p. (In Russ.).
22. *Osnovy naukovedenija* [Basics of science of science]. Edited by Stefanov N. et al. «Nauka». 1985. 431 p. (In Russ.).

Ильясов Барый Галеевич — д-р техн. наук, профессор, академик АН РБ, профессор кафедры технической кибернетики факультета информатики и робототехники, ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ). Область научных интересов: системный анализ, управление в технических и социально-экономических системах, моделирование, теория систем. Число научных публикаций — 450. ilyasov@tc.ugatu.ac.ru; ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000; р.т.: +7(347)2737835, Факс: +7(347)273-78-35..

Ильясов Барый Галеевич — Ph.D., Dr. Sci., professor, academician of Academy of Sciences of Bashkortostan, professor of technical cybernetics department of computer science and robotics faculty, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Ufa State Aviation Technical University (USATU). Research interests: system analysis, control of complex technical, social-economic systems. The number of publications — 450. ilyasov@tc.ugatu.ac.ru; 12, K. Marksastreet, Ufa, 450000; office phone: +7(347)2737835, Fax: +7(347)273-78-35..

Герасимова Ильмира Барыевна — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных систем управления факультета информатики и робототехники, ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ). Область научных интересов: анализ и управление научно-образовательными системами. Число научных публикаций — 80. tarot_gera@mail.ru; ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000; р.т.: +7(347) 273-78-23, Факс: +7(347) 273-78-23.

Gerasimova Ilmira Baryevna — Ph.D., Dr. Sci., associate professor, professor of automated control systems department of computer science and robotics faculty, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Ufa State Aviation Technical University (USATU). Research interests: analysis and control of the scientific-educational systems. The number of publications — 80. tarot_gera@mail.ru; 12, K. Marksastreet, Ufa, 450000; office phone: +7(347) 273-78-23, Fax: +7(347) 273-78-23.

Карамзина Анастасия Геннадьевна — к-т техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики факультета информатики и робототехники, ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ). Область научных интересов: системный анализ и управление сложными организационными системами. Число научных публикаций — 76. karamzina@tc.ugatu.ac.ru; ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000; р.т.: +7(347)273-78-35, Факс: +7(347)273-78-35.

Karamzina Anastasiya Gennadievna — Ph.D., associate professor of technical cybernetics department of computer science and robotics faculty, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Ufa State Aviation Technical University (USATU). Research interests: system analysis and control of complex organization systems, modeling, systems theory. The number of publications — 76. karamzina@tc.ugatu.ac.ru; 12, K. Marksastreet, Ufa, 450000; office phone: +7(347)273-78-35, Fax: +7(347)273-78-35.

Суяргулова Юлия Рустамовна — аспирант кафедры технической кибернетики факультета информатики и робототехники, ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), инженер кафедры технической кибернетики

ки факультета информатики и робототехники, ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ). Область научных интересов: управление в социально-экономических системах. Число научных публикаций — 23. yulya_fazletdino@mail.ru; ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000; р.т.: +7(347)273-78-35, Факс: +7(347)273-78-35.

Suyargulova Iuliia Rustamovna — Ph.D. student of technical cybernetics department of computer science and robotics faculty, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Ufa State Aviation Technical University (USATU), engineer of technical cybernetics department of computer science and robotics faculty, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Ufa State Aviation Technical University (USATU). Research interests: control in and socio-economic systems. The number of publications — 23. yulya_fazletdino@mail.ru; 12, K. Marksastreet, Ufa, 450000; office phone: +7(347)273-78-35, Fax: +7(347)273-78-35.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-08-01334-а)

Acknowledgements. This research is supported by RFBR (grant 15-08-01334-a)

РЕФЕРАТ

Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б., Карамзина А.Г., Суяргулова Ю.Р. **Модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процесса обмена информации.**

В статье рассматривается вопрос функционирования научных школ как элементов, способствующих движению науки в целом. Приводятся результаты изучения процесса взаимодействия различных агентов в научных школах как многомерных многосвязных системах. Научная школа рассматривается как система, состоящая из взаимосвязанных и взаимодействующих агентов как носителей знаний, которые самостоятельно осмысливают полученные знания, принимают решения и контролируют свою деятельность. В работе выделены процессы накопления знаний для трех групп агентов. Определены два режима работы научной школы: свободный (обучающий, коммуникационный) и деловой (активный, трансляционный). Для первого режима характерен обмен знаниями в процессе проведения семинаров, конференций и т.п., для второго характерно достижение определенной цели (выполнение проекта, написание монографии и т.п.).

Авторами предложены нелинейные модели научной школы в этих двух режимах. Выполнено компьютерное моделирование процессов обмена и накопления знаний. Исследовано влияние эффекта самоорганизации и взаимных контактов, процесса накопления знаний для выполнения проекта на процессы накопления знаний различных агентов, чистого запаздывания при обмене и накоплении знаний.

SUMMARY

Ilyasov B.G., Gerasimova I.B., Karamzina A.G., Suyargulova Iu.R. **A Model of Knowledge Accumulation in the Scientific School as a Result of Self-Organization of Information Exchange Process.**

The functioning of scientific schools as elements that contribute to the movement sciences in general is discussed in the article. Results of studying of process of interaction of various groups in scientific schools as multidimensional multiply connected systems are resulted. Scientific school is considered as a system consisting of interrelated and interacting groups of knowledge holders which independently understand purchased knowledge, make decisions and control their activities. The processes of knowledge accumulation for three groups of knowledge holders are identified in the article. Two modes of operation of the scientific school: free (training, communicative) and businesses (active, translational) were defined. The first mode is characterized by sharing of knowledge in the process of conducting seminars, conferences, etc., the second is characterized by the achievement of a specific purpose (complete the project, writing a monograph, etc.).

The authors proposed non-linear models of the scientific school in these two modes. Computer modeling of the processes of exchange and accumulation of knowledge was performed. The effect of self-organization and mutual contacts, influence of the process of knowledge accumulation to perform the project on processes of knowledge accumulation by different groups of holders, the pure delay in the exchange and accumulation of knowledge are investigated in the article.