

На правах рукописи



Зверева Ольга Михайловна

**УПРАВЛЕНИЕ СЕТЯМИ КОММУНИКАЦИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ И
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ
АУТОПОЭЗА**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2017

Работа выполнена в Институте радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на кафедре информационных технологий

Научный руководитель: **Берг Дмитрий Борисович**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры анализа систем и принятия решений

Официальные оппоненты: **Часовских Виктор Петрович**, доктор технических наук, профессор, директор института экономики и управления, заведующий кафедрой менеджмента и управления качеством ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Макарова Мария Никитична, кандидат экономических наук, научный сотрудник Центра исследований социэкономической динамики ФБГУН «Институт экономики УрО РАН»

Ведущая организация: Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Университет «Дубна» (государственный университет «Дубна»)

Защита диссертации состоится 14 декабря 2017 года в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 219.005.03 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» по адресу Россия, 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ауд. 625.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», а также на сайте https://sibsutis.ru/science/postgraduate/dis_sovets/

Автореферат разослан «___» октября 2017г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К.Т.Н.



Полетайкин Алексей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и разработанность темы исследования.

Коммуникативность (обмен потоками вещества, энергии, информации и др. с внешней средой) является неотъемлемым свойством любой системы. Существование социальных или экономических агентов без коммуникаций с другими агентами невозможно. Вследствие этого социальные и экономические системы приобретают сетевую структуру, где сети образованы однократными или повторяющимися коммуникационными процессами.

В экономической кибернетике традиционно используются модели типа «затраты-выпуск», они построены в соответствии с принципами кибернетики первого порядка Н. Винера, которая рассматривает объект и субъект управления изолированно друг от друга. При этом объект управления представляется «черным ящиком», который испытывает приходящее извне от субъекта управляющее воздействие. Сам субъект в расчете по таким моделям в явном виде отсутствует. Управление осуществляется на основе передаточной функции, а его параметры определяются теоремой Эшби о необходимом разнообразии.

В такой ситуации внутренняя структура объекта управления, история его предшествующих состояний практически недоступны для анализа со стороны внешнего субъекта, и, следовательно, не могут быть использованы в управлении. Разделение субъекта и объекта управления и игнорирование внутренних свойств объекта управления является полностью корректным только для технических объектов с фиксированной передаточной функцией (тривиальных машин).

Для управления нетривиальными машинами целесообразно использовать подходы кибернетик более высоких порядков, в частности, кибернетики второго порядка Х. фон Ферстера, к которой относят теорию аутопоэза. Теорема замкнутости кибернетики второго порядка учитывает операциональную замкнутость систем процессов коммуникаций (социальных и экономических) и утверждает, что «в каждой операционально замкнутой системе возникает собственное поведение». Если это поведение состоит в циклическом повторении коммуникаций, то имеет место самовоспроизводство (аутопоэз) социальной/экономической системы, представляющей собой сообщество взаимосвязанных агентов.

Таким образом, разработка подходов к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, является актуальной задачей экономической кибернетики.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью данной работы является разработка методических подходов к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- поставить и формализовать задачу управления сетью коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, с целью повышения эффективности коммуникационного процесса и поддержание аутопоэза в системе;

- разработать методику структурного анализа сетей экономических и социальных коммуникаций, позволяющую выявлять отдельные аутопоэтические структуры и их паттерны;
- идентифицировать аутопоэтические паттерны в сетях экономических и социальных коммуникаций;
- разработать программный комплекс агент-ориентированных моделей (АОМ) коммуникаций в аутопоэтических системах экономических агентов, связанных производственными отношениями;
- предложить методические подходы к использованию различных типов управления сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза.

Научная новизна работы заключается в:

1. Разработке методики структурного анализа сетей коммуникаций в социальных и экономических системах, включающей расчет индивидуальных (для каждого узла) и групповых (для структур, состоящих из двух, трех и более узлов) параметров, в том числе – определение аутопоэтических паттернов (структурного баланса) в сетях социальных и экономических коммуникаций (п. 8 Паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ);
2. Выявлении аутопоэтических паттернов сетей коммуникаций в социальных и экономических системах и расчете их количественных характеристик: в экономических системах такие паттерны образованы совокупностью циклических (замкнутых) цепей обмена различной размерности; в социальных системах они образованы комбинацией триад (структур из трех узлов с заданной конфигурацией связей) (п 5. Паспорта специальности);
3. Разработке комплекса агент-ориентированных моделей коммуникаций в экономических системах для агентов, связанных производственными отношениями; модели отличаются наличием макроэкономических ограничений в соответствии с межотраслевым балансом Леонтьева, использованием финансовых средств в коммуникациях между агентами и возможностью учета отдельных транзакций (п.3 Паспорта специальности);
4. Предложении обоснованных расчетах с помощью АОМ и по методике структурного анализа методических подходов к реализации различных типов управления в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза: институционального управления, управления структурой, управления составом, управления функционированием, позволяющих влиять на целевые параметры длительности коммуникационного этапа, его вариативности и на поддержание свойства аутопоэза в системе (п. 9 Паспорта специальности).

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Методика структурного анализа сетей коммуникаций в социальных и экономических системах, позволяющая выявить и количественно оценить параметры структурного баланса сети;
2. Структурные особенности аутопоэтических паттернов в сетях социальных и экономических коммуникаций, которые заключаются в преобладании

циклических контуров в экономических системах и определенного типа триад (структур из трех узлов) – в социальных системах;

3. Программный комплекс агент-ориентированных моделей коммуникаций, позволяющих учитывать каждую транзакцию между агентами (в условиях макроэкономических ограничений баланса Леонтьева);
4. Методические подходы к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, позволяющие комбинировать институциональное управление, управление структурой, управлением составом и управление функционированием на основе расчетных и экспериментальных зависимостей.

Теоретическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в: постановке в общем виде задачи управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза; в разработке методик определения наличия и возможности сохранения свойства аутопоэза в социальных и экономических системах (сообществах) на основе применения агент-ориентированных моделей и методологии структурного анализа сетей коммуникаций.

Практическая значимость работы. Практическая значимость работы состоит в разработке двух программных комплексов и рекомендаций по управлению локальными экономическими и социальными системами (сообществами). Созданный программный комплекс АОМ и программа структурного анализа сетей используются в образовательных программах бакалавриата и магистратуры УрФУ по направлениям подготовки: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 38.03.05 «Бизнес-информатика», 09.03.03 «Прикладная информатика (в экономике)» (Акт внедрения от 7 мая 2017г.). Методика управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах используется в потребительском обществе «Достойная жизнь» для развития локальных предпринимательских сообществ (Акт внедрения от 19 мая 2017г.).

Методология и методы исследования. В работе используется методология экономической кибернетики и подходы кибернетики второго порядка, а также теория систем и системный анализ. В численных моделях использованы методы агент-ориентированного моделирования, обработка данных проводилась с применением методов математической статистики. Созданная методика структурного анализа основана на методологии анализа социальных сетей (SNA-методологии), объединяющей методы алгебры отношений, теории графов и социометрии.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность результатов работы определяется логикой исследования, полнотой предложенных решений и согласованностью полученных автором результатов с данными информационной базы исследования. Достоверность работы подтверждается положительными результатами использования разработанных программных комплексов для обучения студентов современным методам и технологиям моделирования, а также эффективным внедрением разработанной методики в деятельность потребительского общества.

Апробация результатов. Основные результаты работы были представлены на международных и всероссийских конференциях: Всероссийской конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика - ИММОД-2013(Казань, 2013г.); 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization (Греция, 2014г.); XII Международной научной конференции по проблемам экономического развития в современном мире «Устойчивое развитие российских регионов: экономическая политика в условиях внешних и внутренних шоков» (Екатеринбург, 2014г.); 5th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Болгария, 2015г.); 25 международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 2015 г.); 4, 5 и 6 международных конференциях по анализу изображений, социальных сетей и текстов (Екатеринбург, 2015г., 2016г., 2017г.); 1st International Conference on Sustainable Cities (Екатеринбург, 2016г.); 14th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (Греция, 2016г.); International Conference on Applied Mathematics and Computer Science (Италия, 2017г.)

По теме диссертации автором опубликовано 23 работы, из них 6 статей опубликованы в журналах из списка ВАК; 7 работ – в трудах и материалах международных конференций; 10 работ индексируется в научных базах Scopus и Web of Science. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Основные результаты, постановка задачи, методика структурного анализа и комплекс программных агент-ориентированных моделей коммуникаций созданы автором лично. Программа структурного анализа сетей создана совместно со студентами 4 курса бакалавриата направления 09.03.01.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 207 страницах. Состоит из введения, 3 глав, основных результатов работы и двух приложений. Работа содержит 49 рисунков, 43 таблицы. Общее число использованных источников – 207.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены его цель и задачи, сформулирована научная новизна диссертационной работы, а также ее теоретическая и практическая значимость.

В первой главе работы рассмотрены проблемы управления социальными и экономическими системами в современных условиях, которые характеризуются возросшими коммуникативными возможностями агентов, формированием «сетевого» общества и возрастанием роли локальных сообществ. В этом контексте поставлена задача управления, которая включает описание объекта управления, субъекта управления, целей, параметров и критериев управления.

Объектом управления является социальная или экономическая система S , состоящая из N агентов (Ag_i), которые вступают в коммуникационные отношения друг с другом. Структура коммуникаций задается матрицей связей ($W_{N \times N}$), которая в экономической системе есть матрица взаимных платежей, а в социальной – матрица социальных взаимоотношений, или оргматрица.

Характеристики каждого агента представлены вектором $\vec{c}(t)$, взаимодействие с внешней средой – вектором $\vec{f}(t)$. Система имеет цель Z_S .

Цель системы (Z_S) состоит в поддержании своей жизнеспособности. Жизнеспособность определяется совокупностью двух свойств: способностью системы к самовоспроизводству своих компонентов, связей между ними и своей границы, т.е. аутопоэзом, и приспособляемостью к внешней среде. Последняя определяется стремлением к эффективному функционированию в заданных условиях. Состояние системы, являющейся объектом управления, в момент времени t можно определить как:

$$S(t) = \{\{Ag_i(\vec{c}(t))\}_{i=1}^N, W_{N \times N}(t), \vec{f}(t), Z_S\} \quad (1)$$

Коммуникация как процесс соответствует требованиям теории аутопоэза, т.к. – это физический процесс, в нем происходит передача некоторого материального или нематериального ресурса. Для того чтобы можно было поддерживать самовоспроизводство в такой системе, необходимо наличие структурного баланса.

Цель управления (Z_u) записывается в виде:

- для экономической сети:

$$Z_u \rightarrow (\min T_c \mid \min K) \& (\min S) \& (\vec{X}(t_0) - A \cdot \vec{X}(t_0) = \vec{Y}(t_0)), \quad (2)$$

где T_c – длительность коммуникационного этапа; K – коэффициент обеспеченности финансами; S – стандартное отклонение, характеризующее разброс величины финансового оборота в системе;

$\vec{X}(t_0) - A \cdot \vec{X}(t_0) = \vec{Y}(t_0)$ – уравнение статического баланса Леонтьева.

- для социальной сети:

$$Z_u \rightarrow (\max E_c) \& (\min S_A) \& (SB) \quad (3)$$

где E_c – показатель коммуникационной эффективности сети; S_A – стандартное отклонение, характеризующее степень разброса показателей центральности, агентов сети; SB – условие соответствия моделям структурного баланса.

Задача управления состоит в том, чтобы подобрать параметры управления и их значения, позволяющие оптимизировать коммуникационный процесс в системе при одновременном поддержании свойства аутопоэза. Графическое представление постановки задачи управления приведено на Рисунке 1.

Критериями эффективности управления экономической системой являются следующие характеристики:

$$E_T = \frac{\min T_c}{T_c} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$E_S = \frac{\max S_{KB} - \text{текущее } S_{KB}}{\max S_{KB}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Еще одним критерием эффективности является доля коммуникаций в системе, формирующих аутопоэтический паттерн сети: (E_B^E) – для экономической системы и (E_B^S) – для социальной системы:

$$E_B^E = \frac{\text{число коммун. в циклических контурах}}{L} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$E_B^S = \frac{\text{число разрешенных триад}}{\text{число найденных триад}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Для социальной системы критерием эффективности управления можно считать также показатель коммуникационной эффективности сети:

$$E_c = \frac{1}{g(g-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d(n_i, n_j)} \cdot 100\% \quad (8)$$

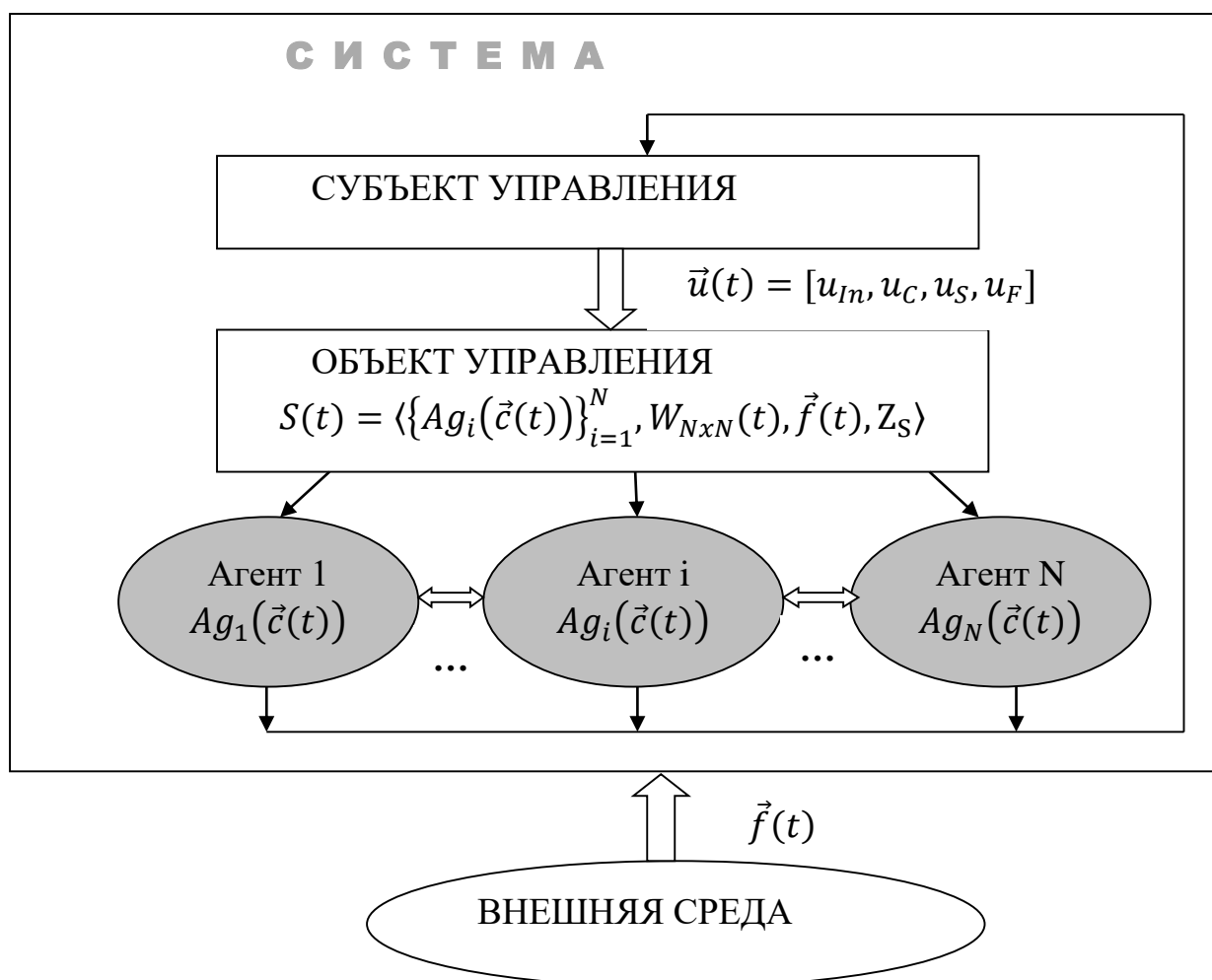


Рисунок 1 – Графическое представление постановки задачи управления

Вторая глава посвящена описанию созданных математических и программных моделей экономических систем, а также методик структурного анализа коммуникаций в социальных и экономических системах. Модели созданы с применением технологии агент-ориентированного моделирования, методика структурного анализа основана на SNA-методологии (SNA – Social Network Analysis, Анализ социальных сетей).

Методика структурного анализа сети коммуникаций включает следующие этапы:

- определение стандартных показателей: размера (g, L), плотности (Δ);
- определение показателей сплоченности: коэффициента взаимности (K_M), коэффициента кластеризации (K_C), диаметра сети (D);
- определение показателей однородности сети: среднеквадратичных отклонений основных показателей центральности (S_A), индексов централизации Фримана (C_A^F);

- определение степени структурной сбалансированности сети в соответствии с основными теориями и моделями структурного баланса на основе получения триадного перечня сети (для социальных сетей);
- нахождение циклических структурных паттернов (для экономических сетей).

Разработанная методика структурного анализа включает расчет показателей, которые перечислены в Таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели методики структурного анализа сети

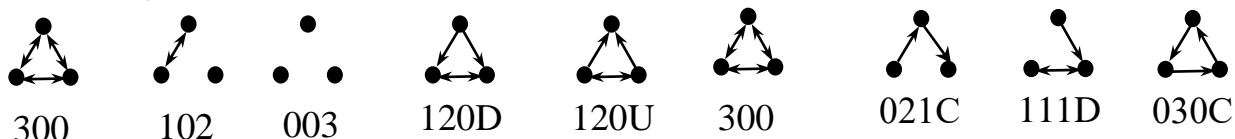
№	Показатель	Описание	Формула, обозначение
Стандартные показатели			
1	Размер	Количество узлов (агентов) Количество дуг	g L
2	Плотность	Доля существующих связей по отношению ко всем возможным связям.	$\Delta = \begin{cases} \frac{L}{g(g-1)}, & \text{для ориентир. сетей} \\ \frac{2L}{g(g-1)}, & \text{для неориентир. сетей} \end{cases}$
Показатели сплоченности			
3	Коэффициент взаимности	Доля диад с симметричной связью относительно всех связных диад	$K_M = \frac{M}{M+A},$ M – число взаимных диад, A – число асимметричных диад
4	Коэффициент кластеризации	Коэффициент кластеризации сети есть среднее арифметическое коэффициентов кластеризации ее узлов	$K_C = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g k_i^c,$ $k_i^c = \frac{2N_{\Delta}(i)}{k_i(k_i-1)}$ – коэффициент кластеризации i -го узла
5	Диаметр	Длина самого большого геодезического расстояния в связной (неориентированной) сети	$D = \max_{i,j} d(n_i, n_j),$ $d(n_i, n_j)$ – расстояние между i -ым и j -ым узлами сети
Показатели однородности			
6	Индекс централизации и Фримана	Приближенность к звездной топологии	$C_A^F = \frac{\sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]}{\max \sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]}$
7	Среднее	Среднее значение показателей центральности	$\bar{C}_A = \frac{\sum_{i=1}^g C_A(n_i)}{g}$
8	Стандартное отклонение	Показатель разброса значений	$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g (C_A(n_i) - \bar{C}_A)^2}{g}}$

Продолжение Таблицы 1

№	Показатель	Описание	Формула, обозначение
Показатели коммуникационной эффективности			
9	Показатель коммуникационной эффективности	Эффективность коммуникаций	$E_c = \frac{1}{g(g-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d(n_i, n_j)}$

Способность к воспроизводству коммуникаций социальной системой обеспечивается наличием когнитивного баланса и описывается теорией Ф. Хайдера. Эта теория была обобщена Д. Картрайтом, Ф.Харари до уровня социальной сети, была построена базовая модель. Последующие модели, сняли ряд ограничений базовой модели – это модель кластеров (Дж.Дэвис), модель ранжированных кластеров (Дж. Дэвис, С. Лейнхардт) и модель транзитивности (П.В.Холланд, С. Лейнхардт)

Анализ на наличие структурного баланса в соответствии с перечисленными моделями основан на понятии триады и триадного перечня. Триада – это минимальная социальная группа, состоящая из 3 агентов (акторов) и существующих между ними связей. Любая сеть коммуникаций однозначно характеризуется своим триадным перечнем – вектором, каждый элемент которого равен числу триад каждого из возможных типов. В каждой модели структурного баланса определено множество разрешенных и запрещенных триад (см. Рисунок 2).



а) примеры разрешенных триад

б) примеры запрещенных триад

Рисунок 2 – Примеры разрешенных и запрещенных типов триад

Необходимым условием наличия аутопоэза в экономической системе является существование замкнутых цепей обмена (топологически – циклических контуров), методика структурного анализа сетей экономических коммуникаций включает поиск и расчет характеристик таких циклических контуров. Была создана программа, определяющая основные структурные параметры сети и находящая все циклические контуры.

Изучение возможных типов управления сетями коммуникаций в экономической системе проводилось с использованием программного комплекса агент-ориентированных моделей (АОМ), состоящего из 5 моделей. Базовая модель, окно которой показано на Рисунке 3, реализует основной (базовый) алгоритм коммуникаций, в других моделях комплекса базовый алгоритм модифицирован в соответствии с решаемыми задачами по изучению возможностей применения различных типов управления системой.

Формализуем постановку задачи управления в системе агентов, связанных производственными отношениями. Для агентов в модели устанавливаются производственные характеристики: объем выпуска (x_i), вектор потребностей в ресурсах (\vec{w}_i), свободный остаток (y_i) и финансовые средства (ф.с.) в денежном выражении, находящиеся в распоряжении агента (m_i). Значения этих характеристик зависят от времени. Объем ф.с. определяется объемом выпуска агента и коэффициентом обеспеченности финансами в системе (K):

$$\vec{M} = K \cdot \vec{X} \quad (9)$$

Вектор состояния i -го экономического агента в произвольный момент времени (t) определяется как:

$$\vec{c}(t) = \langle x_i(t), y_i(t), \vec{w}_i(t), m_i(t) \rangle \quad (10)$$

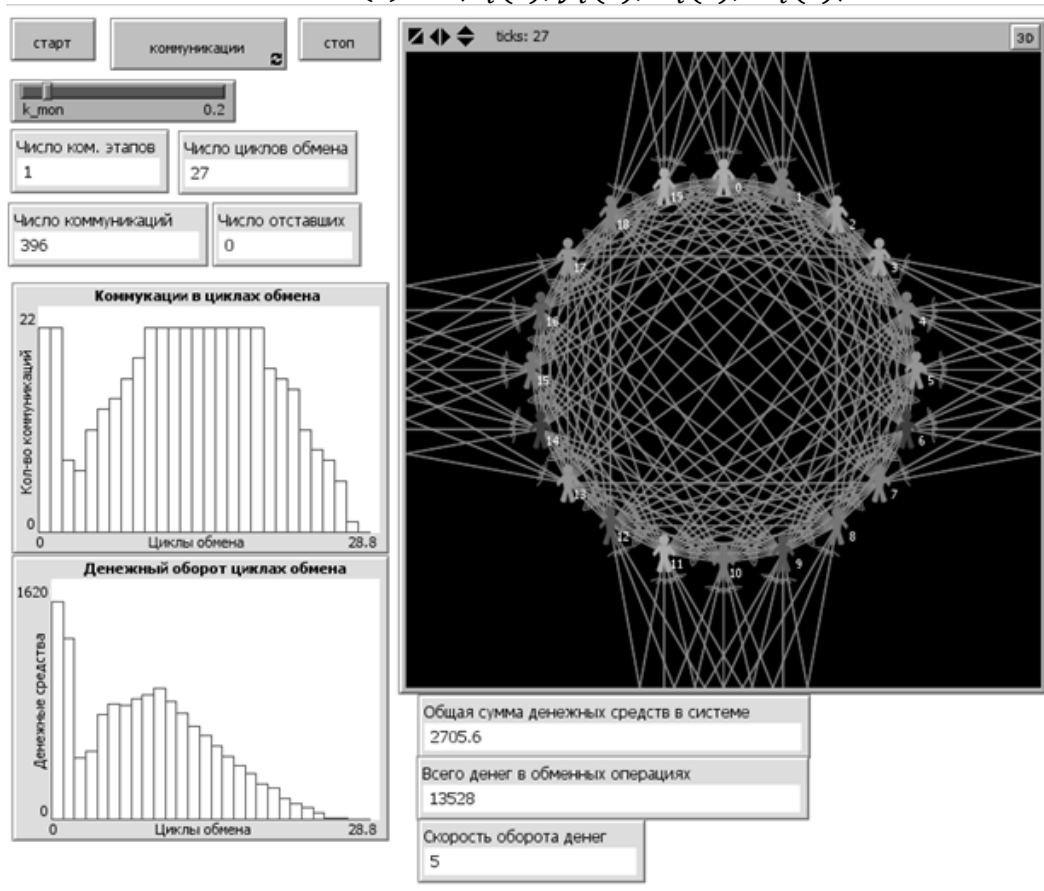


Рисунок 3 – Окно базовой модели комплекса АОМ коммуникаций

Алгоритм базовой модели предполагает совершение агентами коммуникаций, состоящих во взаимном обеспечении продукцией (ресурсами для производства) с использованием ф.с. в качестве средств обмена. При этом:

1. Модельное время делится на циклы: в каждом цикле каждому из агентов предоставляется возможность вступления в коммуникацию.

2. Правило совершения коммуникации между i -ым и j -ым агентами:
 IF ($\exists i, j: (Ag_i(t) = \text{"готов_купить"}) \& (Ag_j(t) = \text{"готов_продать"})$) THEN ($F(t) = \text{коммуникация}(t)$),

$$Ag_i(t) = \begin{cases} \text{"готов_купить"}, & \text{если } (\max(\vec{w}_i(t)) > 0) \& (m_i(t) > 0) \\ \text{"не_готов_купить"}, & \text{иначе} \end{cases} \quad (11)$$

$$Ag_j(t) = \begin{cases} \text{"готов_продать", если } ((x_j(t) > 0) \& (w_{ji}(t) > 0)) \\ \text{"не_готов_продать",} & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

3. Коммуникационный процесс длится до тех пор, пока возможна хотя бы одна коммуникация. Поддержание воспроизводства системы выполняется в условиях статического межотраслевого баланса Леонтьева:

$$\vec{X}(t_0) - A\vec{X}(t_0) = \vec{Y}(t_0) \quad (13)$$

Краткое описание всех моделей и их особенностей приведено в Таблице 2.

Таблица 2 – Состав программного комплекса АОМ коммуникаций агентов, связанных производственными отношениями

Название модели	Характеристика
Базовая модель	Базовый алгоритм коммуникаций (описан выше)
Модель стратегий	Агенты отличаются стратегиями поведения $STR = \{str_j\}_{j=1}^5$
Модель муниципалитета	Матрица взаимных платежей ($W_{N \times N}$) составлена по реальным экономическим данным
Модель открытой системы	Агенты внешней среды введены в матрицу взаимных платежей. Используются два типа финансовых средств: реальные ($\vec{M}_r(t)$, K_r) и виртуальные финансы ($\vec{M}_v(t)$, K_v), $K = K_r + K_v$
Производственно-коммуникационная модель	Введен этап производства, на котором корректируются объемы производства ($\vec{X}(t)$)

В модели стратегий реализованы разные стратегии поведения агентов. Стратегии различаются алгоритмами выбора контрагентов для коммуникации и определения объема обмена. Были использованы 5 различных стратегий, которые представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Стратегии поведения агентов

Стратегия	Выбор		Характеристики контрагента (j-ый агент)	Объем обмена
	Агент (i)	Контр агент		
1 (списковая)	Случайным образом	1	$\exists j: w_{ji}(t) \neq 0, \forall k = 1..j: w_{ki}(t) = 0,$ $w_{ji}(t) \in \vec{W}_i(t), w_{ki}(t) \in \vec{W}_i(t)$	$\min(w_{ji}(t), x_j(t), m_i(t))$
2 (максимальная)	Случайным образом	1	$\exists j: w_{ji}(t) \neq 0, w_{ji}(t) = \max_{1 \leq k \leq N} (w_{ki}(t)),$ $w_{ji}(t) \in \vec{W}_i(t), w_{ki}(t) \in \vec{W}_i(t)$	$\min(w_{ji}(t), x_j(t), m_i(t))$
3 (равномерная)	Случайным образом	L	$\forall j: w_{ji}(t) \neq 0,$ $w_{ji}(t) \in \vec{W}_i(t)$	$\frac{m_i(t)}{L},$ $L = \text{количество } (w_{ji}(t) \neq 0)$
4 (последовательная)	Случайным образом	1	$\exists j: w_{ji}(t) \neq 0, (\forall k = i + 1..j: w_{ki}(t) = 0) \text{ OR } (\forall k = 1..j: w_{ki}(t) = 0),$ $w_{ji}(t) \in \vec{W}_i(t), w_{ki}(t) \in \vec{W}_i(t)$	$\min(w_{ji}(t), x_j(t), m_i(t))$
5 (окрестности)	Случайным образом	1	$\exists j: w_{ji}(t) \neq 0, (\forall k = i + 1..j: w_{ki}(t) = 0) \text{ OR } (\forall k = j - 1..1: w_{ki}(t) = 0),$ $w_{ji}(t) \in \vec{W}_i(t), w_{ki}(t) \in \vec{W}_i(t)$	$\min(w_{ji}(t), x_j(t), m_i(t))$

В модели открытой системы в матрицу W_{NxN} введены агенты внешней среды, что позволяет получить более реалистичную модель, т.к. большинство существующих экономических сетей осуществляют обмены (экспорт/импорт) с внешней средой. В этой модели кроме внешних ф.с. используются внутренние ф.с. Ввод таких внутренних ф.с. позволяет реализовать еще одну разновидность институционального управления.

В производственно-коммуникационной модели в дополнение к инициализационному и коммуникационному этапам введен производственный этап. На этом этапе может происходить корректировка объема производства агента в соответствии с объемами закупленных ресурсов.

В третьей главе диссертационной работы приведены зависимости целевых параметров от параметров управления. На основании обобщения результатов исследований предложен методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза.

Информационная база исследований состоит из данных о 7 экономических системах, полученных на основе статистических данных и в результате экономических экспериментов; и 7 социальных системах, полученных на основе опросов различного типа. Основные структурные показатели подмножества исследуемых сетей приведены в Таблице 4.

Таблица 4 –Значения структурных характеристик ряда исследуемых сетей

Сеть	g	Δ	D	K_M	K_C	C_A^F	\bar{c}_A	S_A
34_гр	13	0,66	2	0,515	0,715	0,372	7,923	0,474
35_гр	17	0,809	2	0,719	0,822	0,217	12,941	0,393
44_гр	17	0,511	4	0,527	0,616	0,342	8,76	0,5
4к_др	10	0,289	4	0,529	0,542	0,611	2,6	0,453
мун	12	0,212	4	0,333	0,517	0,945	2,33	0,409
И_Ек	13	0,192	4	0,153	0,141	0,265	2,308	0,394
И_М	17	0,184	5	0,16	0,227	0,217	2,941	0,387
И_У	11	0,264	4	0,07	0,28	0,172	2,636	0,441

Анализ соответствия изучаемых сетей коммуникаций моделям структурного баланса проводился на основе сравнения триадных перечней сетей с триадными перечнями случайных сетей той же размерности и плотности. Для социальных сетей были рассмотрены не только исходные сети, но и сети, содержащие только воспроизводящиеся связи.

В Таблице 5 приведены триадные перечни сети социальных коммуникаций академической группы 35 («Исх. 35гр»), сети, состоящей только из воспроизводящихся связей той же группы («Воспр. 35гр.»), и сети экономических коммуникаций в муниципалитете («мун»). Для сравнения показаны триадные перечни случайных сетей. В Таблице 5 приведены 14 типов триад (в триадном перечне их 16), 2 типа триад являются нейтральными (не соответствуют моделям и одновременно не являются запрещенными).

Было установлено, что социальные сети лучше согласуются с теориями структурного баланса, чем случайные, причем при учете только

воспроизводящихся связей такая согласованность усиливается. Для сетей экономических коммуникаций такая закономерность не проявилась: по своей структуре в отношении рассматриваемых моделей они близки к случайным сетям.

Таблица 5 – Примеры триадных перечней сетей социальных и экономических коммуникаций и случайных сетей

Тип триады	Социальная сеть				Экономич. сеть		Модели структурного баланса
	Исх. 35 гр.	Случ	Воспр. 35гр.	Случ	«Мун»	Случ	
Разрешенные типы триад							
102	11	1,78	100	44,14	0	11,44	Модель когнитивного баланса
300	227	190,38	12	0,51	0	0,02	
003	0	0,03	141	79	89	52,62	Модель кластеров
021D	5	1,78	58	44,14	7	11,44	Модель ранжированных кластеров
021U	4	1,78	13	38,1	1	11,44	
030T	9	15,08	13	38,10	4	6,16	
120D	33	31,91	1	8,22	0	0,83	
120U	55	31,91	28	8,22	0	0,83	
012	2	0,84	167	204,56	63	85,01	Модель транзитивности
Запрещенные триады							Для всех моделей
021C	1	3,57	10	88,29	6	22,89	
111D	15	15,08	17	38,10	0	6,16	
111U	29	15,08	76	38,10	24	6,16	
030C	1	5,03	0	12,7	1	2,05	
201	40	31,91	24	8,22	19	0,83	

Исследование циклических структур в сетях экономических и социальных коммуникаций показало, что:

- циклические структуры присутствуют в сетях коммуникаций обоих типов;
- совокупность циклических структур в каждой сети образует комплексный паттерн, в котором отдельные циклы оказываются взаимосвязанными, а некоторые агенты и дуги одновременно принадлежат различным циклическим структурам.

Это доказывают диаграммы на Рисунке 4 (Рисунки 4а и 4б – экономические сети, 4в и 4г – социальные сети; Реальн – для исследуемых сетей, Средн_Случ – для случайных сетей).

На основании полученных данных сделан вывод о том, что в сетях социальных коммуникаций аутопоэз обеспечивается структурным балансом, а в сетях экономических коммуникаций – наличием циклических структур.

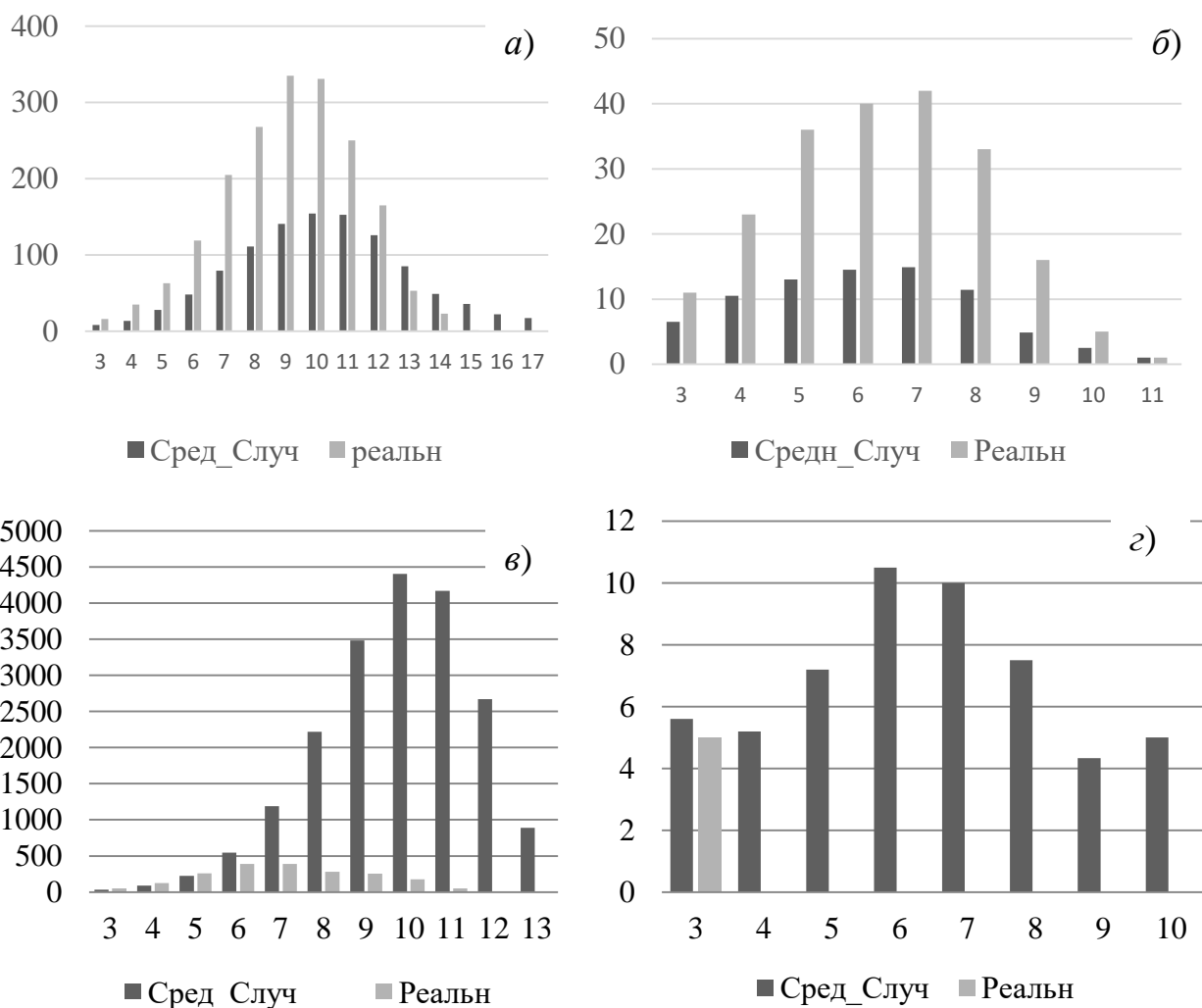


Рисунок 4 – Примеры распределения циклических структур в сетях коммуникаций разного типа: экономические коммуникации: а) сеть И_М, б) сеть И_Е; социальные коммуникации: в) 34_гр., г) сеть 4к_др

Динамические характеристики коммуникаций изучались на АОМ экономических систем, в которых действуют агенты, связанные производственными отношениями. Расчеты проводились для сетей, содержащих от 3 до 50 агентов (узлов), и имеющих плотность (Δ) от 0,212 до 1,0. Было создано три модельных набора данных, удовлетворяющих условию статического баланса Леонтьева. Валидность используемого подхода была подтверждена на реальных данных.

Зависимость интенсивности обменов и их продолжительности от объема финансовых средств (ф.с.) в системе изучалась с использованием базовой модели. Было обнаружено, что недостаток ф.с. в системе затрудняет коммуникации между агентами, что приводит к увеличению, как продолжительности коммуникационного этапа, так и его вариативности. При этом интенсивность коммуникаций в каждом отдельном цикле обмена изменяется так, что можно выделить 3 различных периода в составе коммуникационного этапа (см. Рисунок 5): 1- все коммуникации успешны; 2 – «кризис неплатежей»; 3 – завершение обменов.

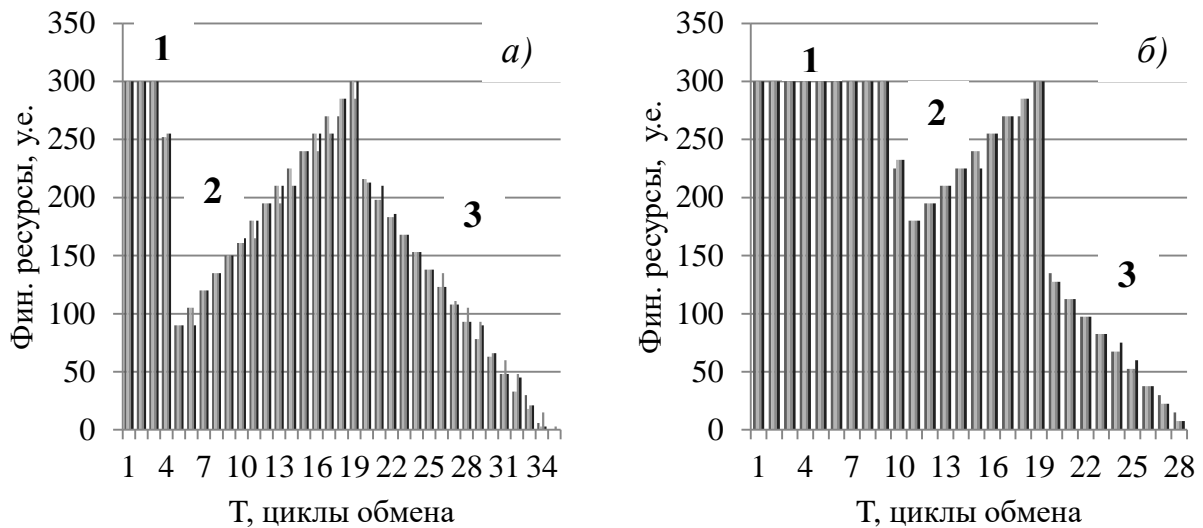


Рисунок 5 – Оборот финансовых средств в системе при разных коэффициентах обеспеченности финансами: а) $K=0,2$; б) $K=0,5$

Было выявлено, что, несмотря на недостаток ф.с. в системе, не все они используются в обменных операциях, что дополнительно снижает эффективность их использования.

Реализация агентами различных стратегий поведения в Модели 2 продемонстрировала, что при любой выбранной стратегии уменьшение объема ф.с. в системе приводит к увеличению длительности коммуникационного этапа (см. Рисунок 6).

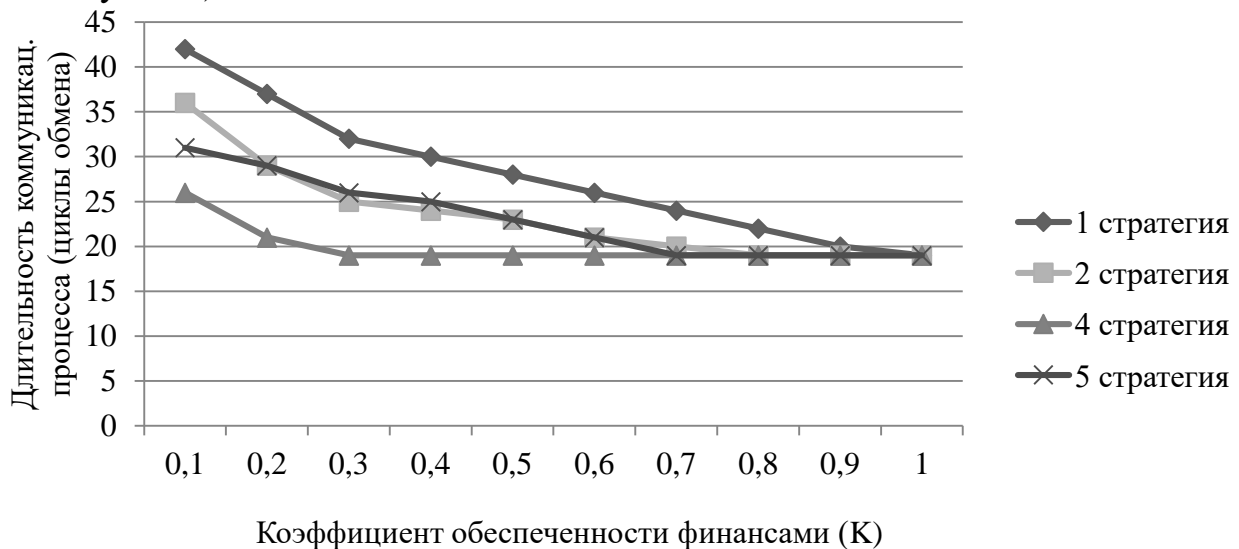


Рисунок 6 – Зависимость длительности коммуникационного этапа от объема финансовых средств в системе при разных стратегиях поведения агентов

В ходе исследования были получены следующие результаты:

1. Длительность коммуникационного этапа при прочих равных условиях минимальна при выборе агентами четвертой стратегии, худшие результаты показывает система, если действующие в ней агенты используют 1 стратегию обменов;

2. «Кризис неплатежей» проявляется при первой и второй стратегиях при малой обеспеченности ф.с. в системе (при $K \leq 0,7$ для первой стратегии и $K \leq 0,6$ для второй стратегии); при 3 и 4 стратегиях обмена таких явлений практически нет; при 5 стратегии поведения небольшие кризисные явления возникают только в условиях крайне малой обеспеченности ф.с. ($K < 0,1$);
3. Третья стратегия поведения отличается от остальных существенно большим количеством коммуникаций, но именно эта стратегия является оптимальной в том случае, если необходимо начать производство, как можно раньше.

Таким образом, одним из типов управления экономической системой является институциональный тип управления, реализованный через объем ф.с. (определяемый коэффициентом обеспеченности финансами, K), вводимых в систему. Эксперименты со второй моделью подтвердили также эффективность управления функционированием: управление поведением агентов в системе позволяет изменять длительность и вид коммуникационного процесса.

Модель 4 является моделью открытой системы, т.к. система взаимодействует с внешней средой (введены агенты). В модели для расчетов с агентами внешней среды введены внешние (реальные) финансовые средства (ф.с.) – их объем определяется коэффициентом (K_r), во внутренних обменах могут использоваться внутренние ф.с. – их объем определяется коэффициентом (K_v). Вид коммуникационного процесса при разной обеспеченности этими двумя видами ф.с. показан на Рисунке 7. Из диаграмм очевидно, что внутренние ф.с. подменяют в коммуникациях внешние (реальные) ф.с., устраняя отрицательные эффекты в условиях нехватки реальных финансов. Это дает еще один возможный вариант реализации институционального управления.

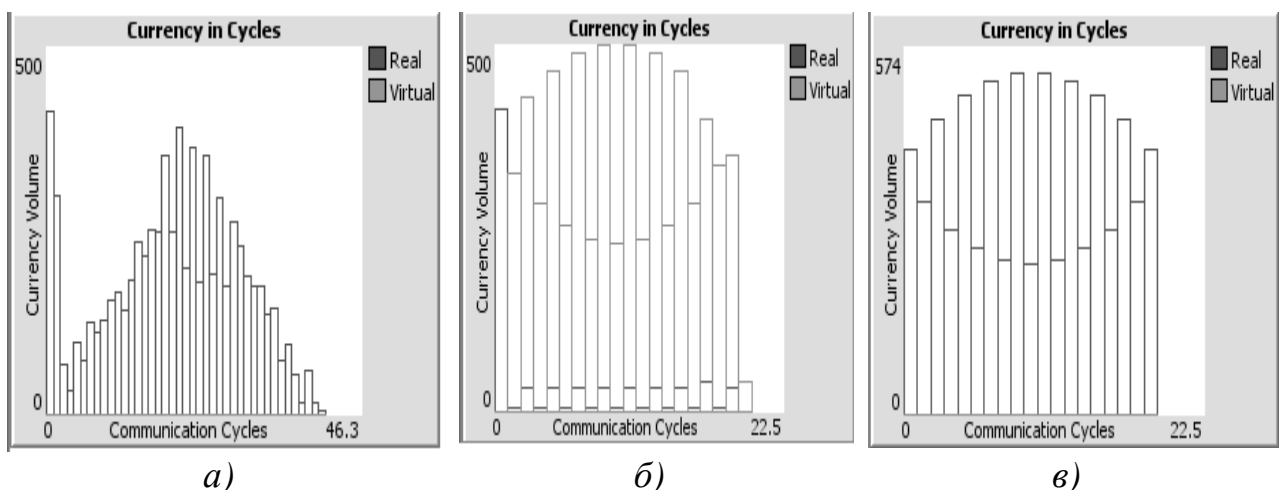


Рисунок 7 – Зависимость оборота финансовых средств в системе и длительности коммуникационного этапа от обеспеченности реальными и дополнительными финансовыми средствами
(а) $K_r = 0,1$; $K_v = 0$; б) $K_r = 0,1$; $K_v = 0,4$; в) $K_r = 1,0$; $K_v = 0$)

Пятая модель была использована для проверки чувствительности системы к возмущающему воздействию на коммуникации внешней среды, которое заключается в нарушении условия баланса, что приводит к потере системой свойства аутопоэза.

В результате исследований с использованием комплекса моделей были показаны возможности использования различных типов управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, которые приведены в Таблице 6.

Таблица 6 – Типы управления сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза

Тип управления	Параметр управления	Целевой параметр
Институциональный (u_{In})	Объем финансовых средств в системе определяется коэффициентом обеспеченности финансами, K	Длительность коммуникационного этапа (КЭ) – E_T , Вариативность КЭ – E_S
	Различные типы финансовых средств (K_r, K_v)	Длительность КЭ – E_T Вариативность КЭ – E_S
Управление составом (u_c)	Различное число и типы агентов	Длительность КЭ – E_T Вариативность КЭ – E_S
Управление структурой (u_s)	Матрица связей	Поддержка аутопоэза
	Наличие циклических структур	Поддержка аутопоэза в экономических сетях (E_B^E)
	Соответствие моделям структурного баланса	Поддержка аутопоэза в социальных сетях (E_B^S)
Управление функционированием (u_F)	Стратегии поведения агентов (\overrightarrow{STR})	Длительность КЭ – E_T Вариативность КЭ – E_S

Совокупность возможных типов управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах и полученных зависимостей целевых параметров от параметров управления составляет основу методического подхода к управлению (Рисунок 8). Вектор управления сетями коммуникаций имеет вид: $\vec{u}(t) = [u_{In}, u_c, u_s, u_F]$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе решена актуальная задача определения основных методических подходов к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза. Решение этой задачи базируется на применении программных агент-ориентированных моделей коммуникаций производственных агентов и методики структурного анализа сети коммуникаций. При проведении исследования получены следующие основные результаты:

1. На основе положений кибернетики второго порядка поставлена и формализована задача управления сетью коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза. Определены возможные типы управления: институциональный, управление составом, структурой и функционированием. В качестве основных целевых параметров выбраны длительность и прогнозируемость (отсутствие вариативности) коммуникационного процесса – для сетей экономических коммуникаций, информационная эффективность сети – для сетей социальных коммуникаций, и обеспечение самовоспроизводимости (т.е.

поддержание свойства аутопоэза) – для сетей обоих типов. В качестве параметров управления используются объем и типы финансовых средств в системе, стратегии поведения агентов, их производственные характеристики и структура связей между агентами;



Рисунок 8 – Методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза

2. Разработана методика структурного анализа сетей коммуникаций в экономических и социальных системах. Методика создана на основе SNA-методологии, в ней определены набор параметров и предложены подходы для определения возможности поддержания свойства аутопоэза в сети коммуникаций. В набор параметров включены стандартные параметры, определяющие размер и

плотность сети, а также параметры, характеризующие ее сплоченность и однородность. В качестве подхода для определения возможности поддержания свойства аутопоэза предложен анализ наличия соответствующих типу сети (экономическая или социальная) структурных паттернов;

3. Создан программный продукт, позволяющий информационно поддерживать разработанную методику структурного анализа. В данной программной среде реализованы функции по визуализации сети, вычислению ее основных параметров, а также нахождению циклических контуров, которые в экономических сетях образуют аутопоэтический структурный паттерн;
4. Разработан программный комплекс агент-ориентированных моделей, агенты которых вступают в экономические коммуникации друг с другом с целью взаимного обеспечения ресурсами и выпуска продукции в нужном объеме. Каждая из пяти моделей, входящая в комплекс, решает конкретную задачу и ориентирована на реализацию одного или нескольких типов управления;
5. Предложен методический подход по использованию различных типов управления сетями коммуникаций в экономических и социальных системах: институциональный тип управления, управление составом, управление структурой и управление функционированием. При применении институционального типа управления и управления составом были выявлены зависимости длительности и прогнозируемости коммуникационного этапа от количества и типа используемых в обороте финансовых средств, определены условия поддержания аутопоэза в системе. Управление функционированием помогло определить оптимальные виды поведения экономических агентов. Управление структурой позволяет определить наиболее значимые с точки зрения коммуникационной эффективности узлы и связи в системе, а также подтвердить возможность поддержания свойства аутопоэза;
6. Показана эффективность использования внутренних финансовых средств в экономической системе (локальном сообществе), которые уменьшают длительность коммуникационного этапа в полтора раза (при коэффициенте обеспеченности внешними финансовыми средствами в 30-40%).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Берг Д.Б., Зверева О.М. Особенности коммуникаций между функционально сопряженными агентами производственной сети /Д.Б.Берг, О.М.Зверева //Вестник СибГУТИ. –2015. –№1. –с.82-96.
2. Зверева О.М. Методика управления сетями коммуникаций в локальных экономических системах /О.М. Зверева //Фундаментальные исследования. – № 9 (часть 2). – 2017. –с. 308-312
3. Зверева О.М., Берг Д.Б. Агент-ориентированная модель коммуникаций экономической системы в условиях межотраслевого баланса Леонтьева. /О.М. Зверева //Научно-технические ведомости СПбПУ. Информатика. Коммуникации. Управление. –2013. –№ 6(декабрь). –с. 77-86.
4. Зверева О.М., Давлетбаев Р.Х., Назарова Ю. Ю., Медведева М. А, Берг Д.Б. Сравнительный анализ структуры локальных предпринимательских сетей

[Электронный ресурс] /О.М.Зверева и др. //Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. –2016. –№ 8. Режим доступа: [http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent &view=items&id=4056](http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=4056).

5. Зверева О. М. Использование мер центральности при анализе аутопоэтических структур в социальных системах [Электронный ресурс] /О.М.Зверева // Современные проблемы науки и образования, –2015. –№ 2 (часть1). Режим доступа: <http://www.science-education.ru/122-21176>.
6. Зверева О.М. Создание концептуальной модели данных в нотации ORM. /О.М. Зверева //Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2012. Спецвыпуск. –с.105-111.

Статьи в периодических изданиях и сборниках, индексируемых в научных базах Scopus и Web of Science

7. O.M.Zvereva, D.B.Berg. Economic communication model set //First International Conference on Applied Mathematics and Computer Science (ICAMCS 2017). ISSN: 0094243X. –2017. –pp.(020045-1) – (020045-9)
8. O.M.Zvereva. Triad census usage for communication network analysis //The 5th international conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts. 6-8 April, 2016. Yekaterinburg. ISSN 1613-0073. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-1710/>. –pp. 378-389.
9. D.B. Berg, Y.Y. Nazarova, O.M. Zvereva, R.H.Davletbaev. The detailed structure of local entrepreneurial networks: experimental economic study //Communications in Computer and Information Science. Publ. by Springer. ISSN 1865-0937. –2016. –Vol. 661. –pp. 73-82.
10. Dmitry Berg, Rustam Davletbaev, Olga Zvereva , Dmitry Nodjenko. The model of localized business community economic development under limited financial resources: computer model and experiment. [Электронный ресурс] //1st International Conference on Sustainable Cities (ICSC). ISSN 2267- 1242. –Vol.6. –2016. – Yekaterinburg. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20160601001>.
11. D.B. Berg, O.M. Zvereva, and Serik Akenov. «Economic Microscope»: The Agent-Based Model Set as an Instrument in an Economic System Research //ICNAAM 2016 Conference Proceedings. Volume 1863, 21 July 2017. Номер статьи 050006. –2016.
12. D.B.Berg, O.M.Zvereva, A.G.Shelomentsev, A.Taubayev. Autopoietic structures in local economic systems //15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Ecology, Economics, Education and Legislation. Conference Proceedings. Volume I. ISSN 13142704. –June 2015. –pp. 109-117.
13. D.B.Berg, O.M.Zvereva. Identification of autopoietic communication patterns in social and economic networks //Proceedings of the fourth conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts, AIST 2015, Revised Selected Papers. ISSN 18650929. –2015. –V. 542. –pp.276-284.
14. Zh.S. Belyaeva, O.M. Zvereva, V.S. Beliaeva. Corporate social responsibility and cross-cultural sensitivity: modeling the teaching effect on internationalisation //7th EuroMed Conference of the EuroMed Academy of Business. Conference readings book proceedings. September 2014. Kristiansand. – 2014. – pp. 1748-1751.
15. Zh.S. Belyaeva, O.M. Zvereva, V.S. Beliaeva. Bridging business sustainability, information technology and cross-cultural sensitivity: a key to teaching innovation

through internationalisation //Proceedings of the 6th International Conference on Education and New Learning Technologies. Barcelona, Spain. ISSN 2340-1117. –July, 2014. –pp. 6396-6405.

16. Zvereva O., Berg D. Agent-based model usage in developing of optimization problem solution in economics //Proceedings of the 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization. –June, 2014. –pp.33-43.

Публикации в сборниках научных трудов

17. Берг Д.Б., Зверева О.М. Использование кибернетического подхода к управлению самовоспроизводством экономических систем: постановка задачи и определение вектора управления [Электронный ресурс] /Д.Б. Берг, О.М. Зверева //Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление». – Том 13. – № 3(36), ст.4. –2017. Режим доступа: <http://www.rypravlenie.ru/?p=3165>.
18. Шевчук Г.К., Зверева О.М. Использование агент-ориентированной модели коммуникаций для определения условий нарушения баланса в производственной системе //Сборник научных трудов по материалам I Международной конференции «Компьютерный анализ изображений: интеллектуальные решения в промышленных сетях (CAI-2016)», УрФУ; под общей редакцией А.Г.Тягунова. – Екатеринбург: Изд-во: ООО «Издательство УМЦ УПИ». – 2016. – с. 234-237.
19. Зверева О.М., Берг Д.Б. Триадный метод оценки структурного баланса //Материалы международной научно-практической конференции «Информация: передача, обработка, восприятие». Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ. – 2016. – с. 141-161.
20. Берг Д.Б., Зверева О.М. Исследование коммуникаций в агент-ориентированной модели //25 Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2015). Севастополь, 6-12 сентября 2015г.: материалы конф. В 2 т. – Севастополь. – 2015. – Т.1. – с. 273-274.
21. Берг Д.Б., Зверева О.М. Аутопоэз в сетях социальных коммуникаций агентов, связанных производственными отношениями //Сборник трудов конференции «Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации–2015». –Екатеринбург. – 2015. –с.241-250.
22. О.М.Зверева, Д.Б.Берг. Бизнес-аспект теории аутопоэза //Информационные технологии – эффективный путь обеспечения инновационного развития: сб. научных докладов и статей. – Екатеринбург, УрФУ. – 2014. –с.132-138.
23. О.М. Зверева, Д.Б. Берг. Структура цикла экономического обмена по данным имитационного агентного моделирования //Материалы конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика». ИММОД-2013. –Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ. – 2013. –Т.1. –с.149-154.

Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный комплекс агент-ориентированных моделей коммуникаций (Модель коммуникаций) № 2014618909 от 02 сентября 2014г.