

САМООРГАНИЗАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. Ч. 1: СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

**Добрынин Владимир Николаевич¹, Ульянов Сергей Викторович²,
Лобачёва Марина Владимировна³, Тятюшкина Ольга Юрьевна⁴,
Ефремов Георгий Александрович⁵**

¹Кандидат технических наук, профессор Института системного анализа и управления;
ГОУ ВПО Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: arbatsolo@yandex.ru.

²Доктор физико-математических наук, профессор;
ГОУ ВПО Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.

³Аспирант;
ГОУ ВПО Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: MarinaLobacheva@yandex.ru.

⁴Старший преподаватель;
ГОУ ВПО Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: tyatyushkina@mail.ru.

⁵Аспирант;
ГОУ ВПО Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: g.efremov@ntpdubna.ru.

*Рассматриваются проблемы самоорганизации и разработки интеллектуального управления
эффективного развития социотехнических систем.*

Ключевые слова: социотехнические системы, самоорганизация, интеллектуальное управление.

SELF-ORGANIZATION AND INTELLIGENT CONTROL OF SOCIOTECHNICAL SYSTEM'S DEVELOPMENT. PT. 1: STATUS AND SOLUTION PATH'S OF PROBLEMS

**Dobrynin Vladimir¹, Ulyanov Sergey², Lobacheva Marina³, Tyatyushkina Olga⁴,
Efremov Georgij⁵**

¹Candidate of Science in Engineering, professor of Institute of system analysis and management;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: arbatsolo@yandex.ru.

²*Doctor of Science in Physics and Mathematics, professor;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.*

³*Postgraduate student;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: MarinaLobacheva@yandex.ru.*

⁴*Senior teacher;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: tyatyushkina@mail.ru.*

⁵*Postgraduate student;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: g.efremov@ntpdubna.ru.*

Self-organization and intelligent control toolkit of effective social-technical systems are discussed.

Keywords: social-technical systems, self-organization, intelligent control.

Введение

Проблема интеллектуального управления эффективным развитием социотехнических систем (СТС) является новой для теории управления, а её решение особенно актуально на современном этапе глобального экономического кризиса и неразрывно связано с решением сложной проблемы принятия ответственных решений в условиях риска или непредвиденных ситуаций управления. Из многих актуальных задач указанного направления исследования в данной статье выделены следующие проблемы. Первая – разработка системного взгляда на особенности СТС как самоорганизующейся адаптивной открытой системы, периодически проходящей через две стадии, повторяющиеся на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ): 1) устойчивая стадия – управляемости и робастности; 2) стадия хаоса – флуктуационная, когда система может либо деградировать, либо перейти в новое качественное состояние устойчивости, управляемости и самоорганизации. Проблемы, связанные с удержанием системы на траектории развития, являются предметом их изучения. Вторая – структурное представление компонент СТС через существенные свойства, которые являются основой её качественных особенностей. Проблема наличия синергетических эффектов (синергетизма) в СТС – главное содержание этой темы. Третья – подходы к построению формальной модели СТС и качественное исследование некоторых частных случаев моделей СТС, не противоречащие динамики развития СТС. Проблема формализации СТС – лейтмотив данной темы. Четвертая – интеллектуальное робастное управление развитием СТС на основе структурно-функционального подхода.

Предлагается конструктивный механизм разработки интеллектуального управления СТС с применением мягких и квантовых вычислений, основой которого является:

- динамическая модель СТС, представленная в виде нелинейной системы дифференциальных уравнений;
- обобщённый показатель эффективности управления развитием, на основе информационно-термодинамического критерия.

Основным выводом работы являются следующие тезисы.

1. В СТС должна присутствовать компонента предсказания, отслеживающая и систематизирующая (на всех стадиях ЖЦ) накапливаемые негативные внутренние и внешние факторы. На основе этих факторов определяются следующие факторы: возможная точка бифуркации (в пространстве

и времени) перехода во флуктуационную стадию; возможный класс стратегий управления переходом в новую фазу устойчивости; необходимые ресурсы (возможные потери полезного ресурса) на переход в новое качественное состояние СТС и т.д.

2. Для обеспечения эффективного функционирования этой компоненты предлагаются средства имитационного моделирования с применением мягких и квантовых вычислений. Результатом моделирования являются эффективные управляющие воздействия на СТС как на объект управления (ОУ).

1. Общие принципы и представления о социотехнических системах

Особенность СТС состоит в её способности к самоорганизации и самоадаптации [1 – 13]. При этом, сами понятия развития, самоорганизации и самоадаптации требуют дополнительного определения и уточнения в зависимости от конкретной модели СТС как ОУ и условий среды его функционирования [14 – 17]. Так, например, созданные природой системы коллективного поведения имеют врожденный алгоритм самоорганизации, а СТС формируют данный алгоритм в процессе своего развития, что показано на рис. 1.

Более того, в критических ситуациях (таких как пожар, землетрясение, взрыв на ГЭС и т.п.) многие СТС имитируют алгоритм поведения, например, колонии муравьев, животных и др. Например, на рис. 2 показана самоорганизация поведения людей при пожаре и колонии муравьев в условиях опасности.

ЖЦ СТС состоит из повторяющихся периодов. Каждый период включает две фазы: устойчивое (стационарное) и неустойчивое (флуктуационное). Рассмотрим кратко физическую интерпретацию развития СТС. В процессе нахождения в устойчивом состоянии в системе накапливаются факторы бифуркации, которые, вне зависимости от противодействия, приводят систему в неустойчивое состояние.

Выход из неустойчивого состояния возможен по двум направлениям: первое – система деградирует; второе – система переходит в качественно новое устойчивое состояние [13, 14, 17]. Описанная выше ситуация качественного изменения развития и функционирования СТС показана на рис. 3.

Удержание системы в устойчивом состоянии – задача первого контура управления; вывод системы из неустойчивого состояния – задача второго контура управления. Поскольку выход из неустойчивого состояния может привести систему в новое качественное устойчивое состояние, то этот общий процесс, охватывающий два уровня управления, назван «управлением развитием». В связи с этим принято, что развитие, а точнее – уровень развития, может служить общим показателем эффективности системы.

СТС является открытой системой, обменивающейся с окружающей средой энергией, веществом, информацией для её устойчивого состояния, для которой выполняется термодинамический критерий [13]. Именно он может служить основой для формирования общего показателя эффективности СТС, так как гарантирует минимум потерь полезного ресурса при переходе СТС в новое стационарное состояние. В качестве средств управления в СТС используются вещество, энергия, информация и обобщенные знания (внешние и внутренние).



Рис. 1. Примеры коллективного поведения животных на основе самоорганизации [18]

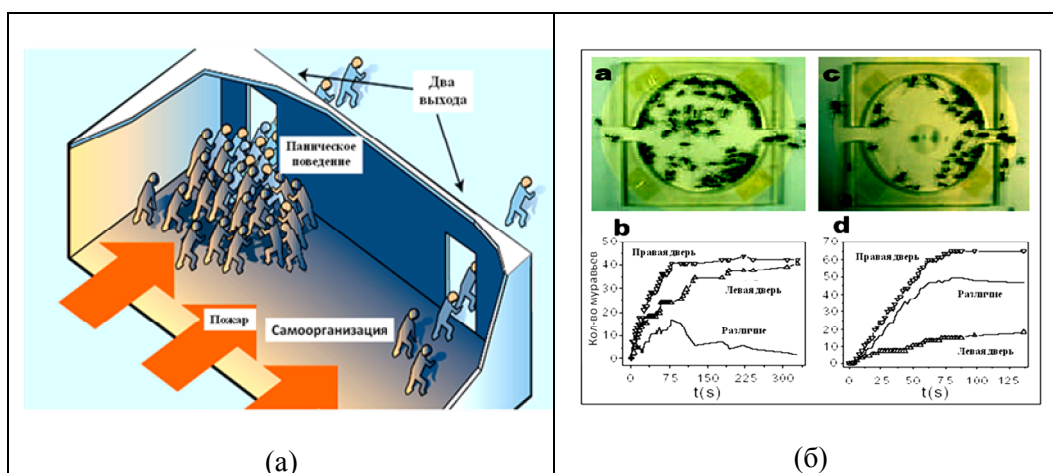


Рис. 2. Самоорганизация людей (а) и колонии муравьев (б) в нештатной ситуации [19, 20]

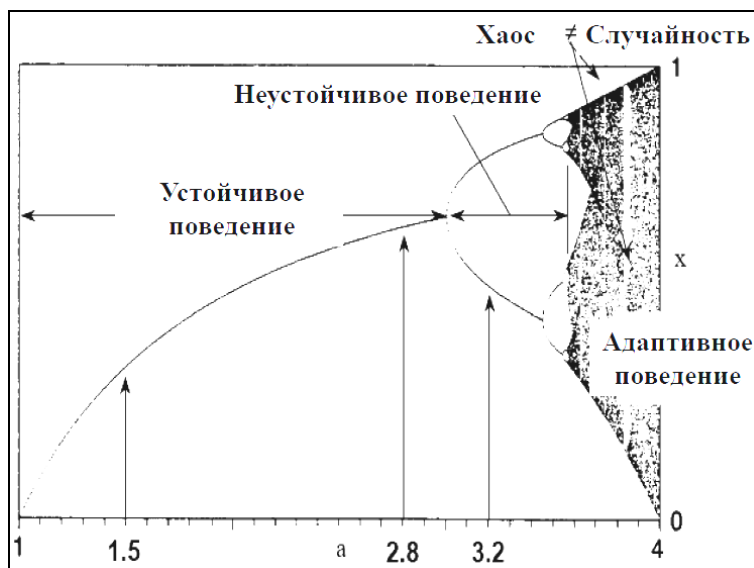


Рис. 3. Бифуркация поведения структуры СТС [17]

К СТС можно отнести такие социально-технические комплексы как гидроэлектростанция (ГЭС) и социальная среда (СС), обеспечивающая функционирование ГЭС и жизнь коллектива в определённой социальной обстановке. Качество жизни населения, одна часть которой обслуживает ГЭС, а другая – социальную инфраструктуру, отражает в целом уровень жизни. Стабильность и управляемость технической компоненты (ГЭС) характеризует качество технической компоненты. Уровень развития обобщенной системы «ГЭС + СС» может служить общим показателем СТС. Согласованность между технической и социальной компонентами СТС может рассматриваться как общий технологический показатель эффективности системы в целом.

Аналогично, в этом же ключе, можно рассматривать различные СТС, ориентированные на производство общественно значимого продукта. Различие между ними может быть в технологических акцентах, связанных с природой используемого исходного материала и природой конечного продукта. Так, ГЭС является преобразователем энергии падающей воды в механическую и, затем, в электрическую. Тем самым технологии использования технической составляющей (как техническая компонента) и профессиональная компетенция коллектива и особенности жизни населения (как СС) имеют свои отличительные качества, по сравнению с другими СТС.

Горно-обогатительные и перерабатывающие комплексы совместно с СС представляют собой СТС, обладающей теми же общими свойствами, что и ГЭС. Но условия жизни населения и технологии производства и особенности окружающей среды отличаются от других систем, в том числе и от ГЭС.

В качестве еще одного примера СТС можно рассмотреть железную дорогу (ЖД) и связанную с ней СС.

Техническая компонента данной СТС включает всю инфраструктуру, подвижной состав, средства сигнализации и телеуправления, а также мониторинговые системы. В качестве важной особенности можно отметить неоднородность технической компоненты: различные допустимые нагрузки на инфраструктуру, различные виды энергоносителей для локомотивов, различные типы средств связи, различный уровень автоматизации.

В социальной структуре данной СТС можно выделить следующие типовые части: службы, отвечающие за содержание ЖД в рабочем и безопасном состоянии; службы, отвечающие за качество и безопасность производственных процессов; службы, отвечающие за развитие как технической компоненты, так и социальной; вспомогательные службы. Если рассматривать данную СТС в границах государства, то к ее СС так же можно отнести соответствующие вузы и НИИ, занимающиеся подготовкой кадров, разработкой новых составляющих технической компоненты и улучшением технологии использования ЖД.

Конечным продуктом обобщенной системы «ЖД + СС» являются услуги перевозок, как пассажирских, так и грузовых. В зависимости от типа производимой услуги различаются как сами исполь-

зуемые технические компоненты, так и технологии их использования. Пассажирские перевозки осуществляются по заранее разработанному расписанию с учетом колебаний пассажиропотоков. Грузовые же поезда отправляются тогда, когда наберется достаточное количество вагонов, удовлетворяющих условию попадания в один и тот же поезд. Таким образом, получается, что пассажирские поезда имеют более высокий приоритет по использованию инфраструктуры, так как им надо выдерживать график, а грузовые поезда вносят возмущение в перевозочный процесс, так как решение об их отправлении принимается локально. Естественно, при критическом уровне возмущения нарушается технология использования ЖД, что приводит к снижению качества предоставляемых услуг.

Таким образом, многообразие существующих СТС объединяются общими структурно-функциональными свойствами и целостными показателями качества. Различие СТС состоит в технологических особенностях преобразования типа исходного материала в типы конечного продукта, а также в особенностях связанных с ними СС. Эти общие и различительные особенности являются важными в задачах проектирования и в задачах анализа динамики развития СТС.

В статье рассмотрена модель интеллектуального управления развитием на основе модифицированной модели самоорганизации и адаптивного управления, учитывающей качественные особенности СТС как сложной динамической системы [17 – 19]. Модель управления развитием может служить на различных этапах ЖЦ основой для анализа проблем СТС.

2. Анализ физических и логических интерпретаций моделей СТС

В эпоху информационного общества традиционная парадигма управления, базирующаяся на кибернетических взглядах, часто не отражает научно-практический опыт управления в больших диффузных системах (с обменом веществом, энергией и информацией), в частности в СТС. Пересмотр этих взглядов начинается с анализа существующей парадигмы и её понятийной базы в области управления, и формировании новой парадигмы, которая наиболее адекватна существующим, в настоящее время, проблемам в области теории управления. В связи со сказанным, определим базовую понятийную основу, в рамках которой излагается данная работа.

Категорию «парадигма» в науку ввёл Т. Кун (Kuhn T.S.) таким образом: «Под парадигмой я подразумеваю признанные всеми научные достижения, которые в течение определённого времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений» [1].

Согласно данному толкованию парадигмы в данной работе принят феноменологический принцип: «Исследование реальной или идеальной системы определяется факторами: мотивацией исследователя, его научно-практическим опытом и проблемной ситуацией или проблемой, в которую погружён исследователь».

В настоящее время существует два взгляда на феноменологию:

- *Феноменология* – термин, используемый в естествознании, для обозначения совокупности знаний, определяющих взаимосвязь между различными наблюдениями явлений (феноменов) в соответствии с фундаментальной теорией, но непосредственно из этой теории не следующих. Границы между теорией и феноменологией размыты и в определённой степени зависят от уровня понимания и интуиции исследователя.
- *Феноменология* (нем. *Phänomenologie* – учение о феноменах) – направление в философии XX века, определявшее свою задачу как беспредпосылочное описание опыта познающего сознания и выделение в нем сущностных, идеальных черт явления.

С принятых структурно-функциональных позиций, авторы считают, что на первых стадиях анализа проблемной ситуации или проблемы, связанной с объектом исследования, выявление сущностных идеальных черт объекта опирается на феноменологические методы, основным понятием которых является второе толкование. Дальнейшая декомпозиция проблемной ситуации полагается на феноменологические методы, использующие первое понятие.

Таким образом, в работе определяется принцип исследования проблемной ситуации или проблемы. При наличии соответствующей мотивации, взаимосвязь между объектом исследования и исследователем проявляется в проблемной ситуации или проблеме (рис. 4).



Рис. 4. Взаимосвязь между объектом исследования и проблемной ситуацией

Этот принцип позволяет провести системный анализ проблемы и определить первые шаги исследования, а именно: создание феноменологического описания объекта исследования, которое отражает проблемную ситуацию.

Рисунок 4 интерпретируется следующим образом. Исследователь погружён (внешний контур рис. 4) в проблемную ситуацию, связанную с объектом исследования. Объект исследования представлен перед исследователем неоднозначно и неопределённо (пунктирная линия отражает эту особенность). Для разрешения проблемной ситуации исследователь на первых шагах анализа должен так описать объект, чтобы в описании отражалась проблемная ситуация (стрелки исходящие от проблемной ситуации). Феноменологические методы позволяют выявить идеальные свойства и затем определить совокупность знаний, характеризующих структурно-функциональные особенности объекта исследования. Неоднозначность успешного разрешения проблемной ситуации зависит от многих факторов, в частности – от субъективных знаний конкретного исследователя (пунктирный контур исследователя).

Проблемная ситуация социотехнических систем

В настоящее время накоплен научно-практический опыт управления разнообразными системами. В научной основе управления используется информационная парадигма. Однако при разработке методов управления на основе информационного подхода сложными самоорганизующимися системами информационная парадигма не позволяет сконструировать эффективный метод управления. Более того, свойство самоорганизации (что присуще СТС), предполагает отсутствие механизма управления. Тем не менее, управление развитием подразумевает целенаправленное, быть может, косвенное, воздействие на СТС в определённых её состояниях.

Возникает вопрос: *Как характеризуется СТС в современном представлении?*

В экономическом словаре СТС определяется следующим образом.

Социотехническая система (СТС) – система развития организации, основная цель которой состоит в достижении оптимального соответствия между технической системой и ее социальной структурой. Структура СТС включает две компоненты: техническую подсистему и социальную структуру. Между этими компонентами (согласно определению) задано отношение «соответствия». СТС – на языке кибернетики – это система управления развитием организации [13]. Целью этой системы является поддержка требуемого (желаемого) уровня соответствия технической и социальной компонент организации (рис. 5).

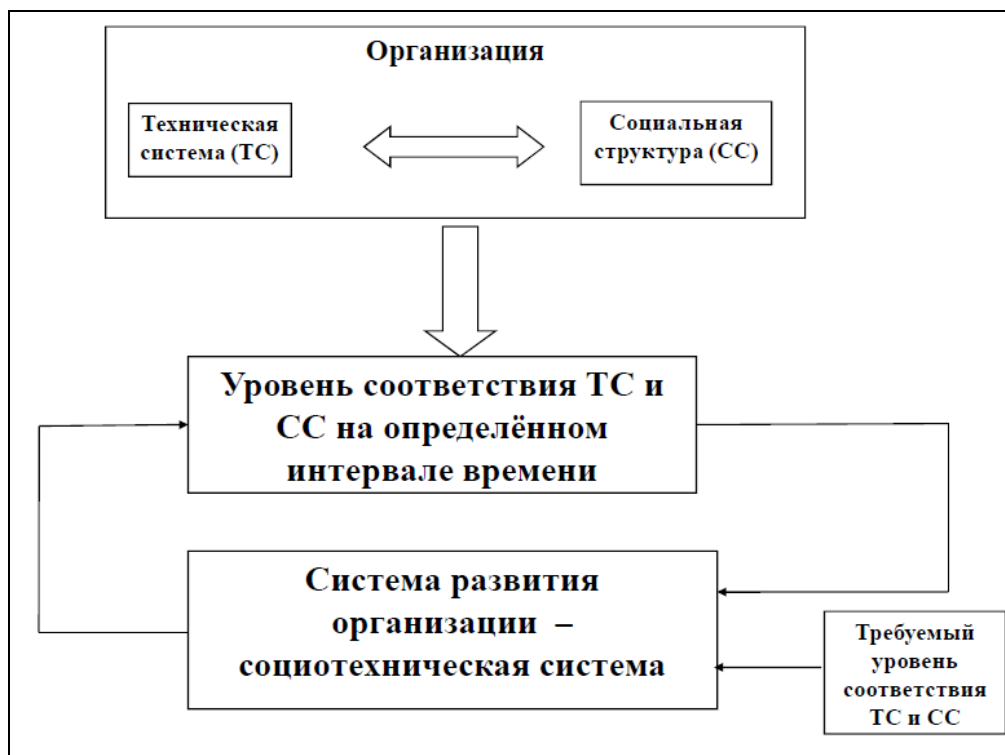


Рис. 5. Структурная модель СТС

Интерпретация рис. 5 приведена ниже.

Согласно энциклопедии социологии социальная структура и социальная система определяются следующим образом.

Социальная структура (СС) – совокупность относительно устойчивых связей между элементами социальной системы, отражающая ее сущностные характеристики. Важнейшая отличительная особенность СС заключается в том, что она тождественна системным (эмерджентным) свойствам комплекса составляющих ее элементов, т.е. свойствам, не характеризующим отдельные элементы этого комплекса. В любой структуре можно выделить элементы, составляющие собственно структуру, и комплекс элементов, из которых структура строится. Например, сумма всех деревьев остается неизменной независимо от того, стоит ли каждое дерево на отдельном участке или же все деревья составляют лес, т.е. определенную экологическую структуру. Структура социальной группы также отличается от совокупности составляющих ее членов теми свойствами, которые не могут быть использованы для описания отдельных членов группы, так как они характеризуют отношения и взаимодействия большинства или всех этих членов и, следовательно, относятся ко всей группе как целому, например, свойствами сплоченности. Таким образом, социологический анализ СС коренным образом отличается от изучения составляющих ее элементов (индивидов, норм, ценностей, социальных статусов, ролей, позиций и т.п.). Такое исследование сосредоточено на системных, эмерджентных (не сводимых к сумме составляющих элементов) свойствах именно совокупности элементов, характеризующих не отдельные из них, а способ их сочетания, отношений и взаимодействий между ними.

Таким образом, СС это:

- элементы социальной системы;
- устойчивые связи между элементами;
- система, характеризующаяся эмерджентными свойствами комплекса элементов.

Социальная система – совокупность элементов (различных социальных групп, слоев, социальных общностей), находящихся между собой в определенных отношениях и связях и образующих определенную целостность.

Наиболее важным является выделение системообразующих связей, обеспечивающих свойство целостности – условие относительно обособленного функционирования и развития СС.

Функционирование СС во внешней среде опирается на определенную упорядоченность ее элементов, отношений и связей. Структурно и функционально различные аспекты упорядоченности образуют основу для выделения в СС ее подсистем. Как упорядоченное целостное множество взаимосвязанных элементов, обладающее структурой и организацией, СС в своем взаимодействии со средой демонстрирует определенное поведение, которое может быть реактивным (определяться воздействием среды) или активным (определяться собственными целями, предполагающими преобразование среды и подчинение ее своим потребностям). Специфической чертой сложно организованных систем является наличие в них процессов социального управления, которое обеспечивает автономность и целенаправленный характер поведения СС, а специфические черты управления и обмена информацией приводят к выделению классов многоуровневых, многоцелевых, самоорганизующихся и других систем [13].

Таким образом, в работе под СС будем понимать:

- совокупность элементов (группы, слои, этносы, общности);
- системообразующие связи между элементами, образующие целостность.

Техническую систему определим следующим образом. *Техническая система* (ТС) – это совокупность средств, созданных в результате человеческой деятельности, для осуществления различных процессов и обслуживания потребностей социальной системы.

Следуя введенным определениям, рис. 5 интерпретируется следующим образом. Согласно кибернетическому подходу основным показателем развития организации является уровень соответствия ТС и СС на определённом интервале времени. Если этот уровень не соответствует требуемому, тогда система развития должна сформировать такое управляющее воздействие, которое гарантированно устранил нежелательное отклонение уровня соответствия ТС и СС.

Однако из логической интерпретации модели СТС возможно и другое структурно-функциональное представление (рис. 6).

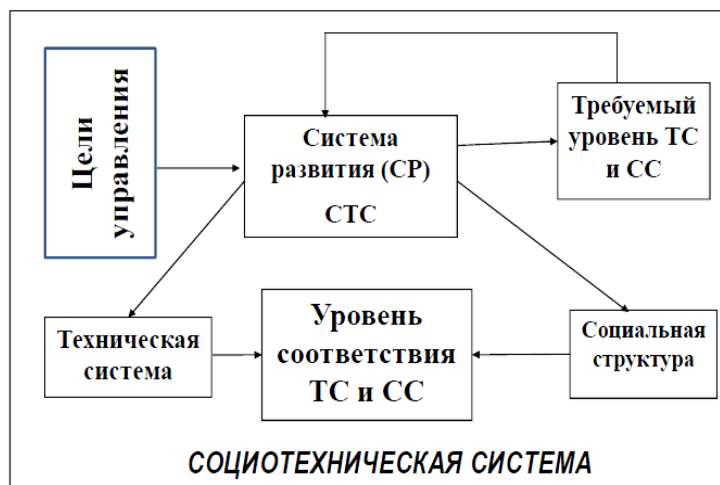


Рис. 6. Структурно-функциональное представление СТС

Рис. 6 интерпретируется следующим образом. СТС включает три компонента: ТС, СС и систему развития (СР) ТС и СС. Взаимосвязь ТС и СС характеризуется уровнем соответствия. Связь СР с ТС характеризует влияние СР на ТС с целью улучшения уровня соответствия. Аналогично связь СР с СС характеризует влияние системы развития на социальную структуру.

Введём обозначения. $S_{ТС}$ – состояние технической системы; $S_{СС}$ – состояние социальной структуры; U – уровень соответствия ТС и СС.

Тогда, согласно сказанному, $U = U(S_{ТС}, S_{СС})$, т.е. уровень соответствия является функцией от состояний ТС и СС. Обозначим через $U_{тр}$ – требуемый уровень соответствия ТС и СС. Очевидно, что $U_{тр}$ зависит от внутренних факторов СС ($F_{вн}$) и внешних – Q т.е.:

$$U_{mp} = U_{mp}(F_{вн}, Q).$$

Формирование U_{mp} осуществляется СР, и она же осуществляет необходимое влияние на ТС и СС для улучшения уровня соответствия.

Такова структурно-функциональная интерпретация вышеприведённого толкования СТС рис. 5 и рис. 6, несмотря на их различие.

Особенности СТС

Следует отметить, что многими исследователями не отмечаются важные особенности СТС:

1. Компоненты ТС и СС существенно различаются по уровню сложности (СС на порядки сложнее ТС).
2. В реальности в СТС нет чёткой границы между СС и СР.
3. ТС и СС при своём развитии оказывают влияние друг на друга.
4. Средствами взаимовлияния ТС, СС являются: информация, знания, энергия и вещество. Тем самым, в СТС должны быть механизмы, порождающие и преобразующие информацию, знания, энергию и вещество (см. Табл. 1). Такой универсальной порождающей и преобразующей компонентой в СТС является человек, представляющий собой «био-энерго-информационную» систему. СС и СР СТС образуются из таких систем.

Таблица 1

	И (информация)	К (знания)	Е (энергия)	М (вещество)
И (информация)	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
К (знания)	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}
Е (энергия)	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}
М (вещество)	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}

Параметры таблицы 1 интерпретируются следующим образом: P_{ij} – преобразующий механизм i -го средства в j -ое средство.

В таблице 2 представлены основные свойства персонала, которые являются базовыми для качественных синергетических особенностей СТС и для реализации основных функций преобразований материала, энергии, информации, данных и знаний в материал, энергию, информацию, данные и знания в различных комбинациях (см. табл. 1).

Таблица 2

Свойство	Содержание	Использование
Самоконтроль	Контроль собственной деятельности, с целью оценки эффективности своей деятельности (затраты времени на работу, используемых технических и др. средств, соответствия прилагаемых усилий решаемым задачам, функциям, работам).	Является компонентой самоорганизации и самоуправления СТС.

Самоменеджмент	Способ специализированного поведения, связанный с преодолением внутреннего сопротивления, мягким или жёстким самоограничением с принуждением, отказом от некоторых действий или состояний, вполне для себя приятных. Базируется как на рациональных основаниях (доводах и разума), так и на силе воли или на мотивах.	Проявляется в таких функциях как самоанализ, самооценка, самоисповедь, самоотчёт, тестирование. Самоанализ включает такие составляющие как: самопонятие, самопредставление, самовосприятие, самоощущение. Это свойство проявляется в таких качествах СТС как корпоративная культура и развитие.
Самомотивация	Чувство долга, ответственности, внутренняя установка на качественный, производительный труд, осознанное желание быстрее достичь результата. Человек, разделяющий цели и ценности своей организации, способен сам устанавливать для себя задачи, находить пути их решения и контролировать себя.	Является основной для сотрудничества, коллективизма, партнёрства, толерантности. Это свойство является компонентой корпоративной культуры СТС.
Самоорганизация	Свойство, за счет собственных усилий (без внешнего управляющего воздействия) упорядочивать свою деятельность и в результате функционировать с возрастающей эффективностью.	Это свойство является основой для коллективной самоорганизации. Наличие данного свойства предполагает некоторый минимальный уровень развития социальной системы, находясь на котором она (следовательно, и ее руководящий состав, специалисты, персонал) может самостоятельно (без «подсказки» сверху) воспринимать и реализовывать новые формы организации. Обязательное условие – наличие определенной степени свободы (хозяйственной, экономической, организационной, интеллектуальной). Это свойство проявляется в адаптации СТС.
Самореализация	Высшее желание человека реализовать свои таланты и способности.	Личность отличается от др. своим отношением к жизни – она живет больше в реальном мире, чем в мире абстрактных идей или стереотипов, которые большинство людей принимают за реальный мир. Стремление помогает ей видеть вещи такими, какие они есть, а не такими, какими они кажутся. Этот тип людей заботится о благе своих ближних, ориентирован на решение проблем и нуждается в дружеском общении при видимой склонности к уединению. Это свойство является основой развития СТС.
Самооценка	Оценка собственных способностей, значимости и целей в тех областях	Этот феномен лежит в основе самовоспитания и самосовершенст-

	<p>жизни, которые важны для данного человека; оценка соответствия реальных результатов собственной деятельности личным притязаниям, критериям успеха, поставленным целям. В зависимости от соответствия различают следующие разновидности самооценки: а) адекватная, соответствующая действительным способностям, возможностям человека; б) завышенная, когда человек переоценивает себя; в) заниженная, когда человек недооценивает себя.</p>	<p>воваания: для начала человек в представлении о самом себе, стремится быть лучше, способнее, активнее, целеустремленнее, чем он есть на самом деле. Логическим завершением является самоисповедь—способ призвать в судьи собственных действий, поступков, побуждений и результатов задуманного и осуществленного самого себя (свое внутреннее «Я»). Результатом самонаблюдения и самоанализа может стать самоотчет—описание человеком самого себя, своих мыслей и действий. Это свойство является основой корпоративной культуры СТС.</p>
Самосертификация	<p>Личностное представление о соответствии установленным требованиям или профессиональным стандартам СТС.</p>	<p>Является основой для сертификации персонала в целом. Это свойство проявляется в устойчивости и управляемости СТС.</p>
Самосинергетизм	<p>Совокупный эффект самоуправления собственными ресурсами (энергетическими, информационными, био-энерго-информационными).</p>	<p>Проявляется в синергетизме СТС (качество целого больше суммы качеств своих частей). Это свойство проявляется в возможности развития СТС.</p>
Саморегулирование	<p>Способность поддерживать постоянство своих внутренних параметров (биологических, интеллектуальных) при изменении окружающей среды. Характерно наличие в них процессов управления, с которыми связана возможность саморегуляции, целенаправленный характер поведения.</p>	<p>Является основой для саморегуляции СТС в целом.</p>
Самосоциализация	<p>Способность усвоения индивидом норм, ценностей, установок, присущих данному коллективу, группе, обществу. Процесс, в ходе которого человек учится в своей социальной среде проявлять такой стиль поведения и усваивать только те ценности, представления и потребности, которые соответствуют принятой в этой социальной среде системе ценностей, а все противоречащее — отвергать.</p>	<p>Является основой таких качеств коллектива СТС как сплочённость, коллективизм, синергетизм.</p>
Социально-психологическая компетентность (эмпатия)	<p>Способность индивида эффективно взаимодействовать с окружающими его людьми в системе межличностных отношений. В структуру входят умения: ориентироваться в социальных ситуациях, правильно определять личностные особенности и эмо-</p>	<p>Является важным компонентом корпоративной культуры СТС.</p>

	циональные состояния др. людей, выбирать адекватные способы обращения с ними и реализовать эти способы в процессе взаимодействия, умение поставить себя на место другого (эмпатия).	
Социальное саморазвитие	Способность индивида изменять к лучшему социальную среду обитания.	Социальное саморазвитие является компонентом корпоративной культуры и развития СТС.
Стресс-устойчивость	Совокупность личностных качеств (например: воля, целеустремленность, толерантность и т.д.), позволяющих работнику переносить значительные интеллектуальные, волевые и эмоциональные нагрузки (перегрузки), обусловленные особенностями профессиональной деятельности, без особых вредных последствий для деятельности, окружающих и своего здоровья.	Проявляется в устойчивости, управляемости и развитии СТС.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует целостная система метрик количественного измерения представленных свойств. Теория мягких вычислений может быть основой построения системы метрик качественных свойств персонала СТС.

Отмеченные особенности не отражены в кибернетическом толковании управления СТС. Тем самым необходимо иное определение управления или необходима его адекватная замена.

Управление развитием СТС

Главной чертой в интерпретации СТС является то, что под управлением понимается управление развитием. Поэтому важным в понимании управления развитием является значение развития. В связи с этим рассмотрим предпосылки понятия развитие. В работах [2 – 6, 12] отмечается, что в СТС проявляются свойства самоорганизации; П. Друкер, называет постиндустриальную эпоху «эпохой без закономерностей», задачи же управления в современных условиях относит к проблемам мировоззрения и образа мышления; изменение парадигмы как образа мышления сообщества состоит в совершенствовании старых и введении новых понятий; понятие «развитие» применительно к развитию биологических, социальных, экономических и других систем хорошо разработано [4 – 6]; однако «развитие» безотносительно к конкретным системам обсуждалось крайне мало, хотя можно встретить определения этого понятия через отдельные его свойства [12]. Выделенные тезисы в работах [2 – 6, 12] являются исходными посылами для анализа толкования понятия развитие.

Примечание. Отметим некоторые распространенные определения понятия развития. Развитие – необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов [БСЭ]. Развитие оценивается через направленность изменений (например, как «движение от простого к сложному»). В [12] отмечено, что развитие проявляется в таких качествах как естественный процесс развития; увеличение сложности системы; улучшение приспособленности к внешним условиям; увеличение масштабов явления; количественный рост экономики и качественное улучшение ее структуры; социальный прогресс. Если развитие представлять как систему, тогда такая система должна состоять из процессов, связей и образовывать определённую организованную целостность [21]. Так в биологии система развития включает следующие процессы: дифференциацию, количественный рост, морфогенез. На основе Дарвинской триады развитие как система включает изменчивость, наследственность, отбор [6].

Обобщающее понимание «развития» содержится в синергетической концепции самоорганизации [7, 8]. Суть этой концепции состоит в следующем: 1) развитие – это процесс самоорганизации; 2) в процессе развития происходит взаимодействие двух процессов – устойчивого (стационарного) и не-

устойчивого (флуктуационного); 3) взаимодействие устойчивого и неустойчивого процессов наблюдаются в открытых системах (неравновесные системы с диссипацией) и в потоковых системах (приток и отток энергии, информации, знаний, вещества) [22]; 4) развитие является естественным процессом, поскольку его направленность не является результатом целенаправленного управления [14 – 17, 21]; 5) поведение в больших и сложных системах, определяют не столько внешние силы, сколько внутреннее состояние системы, использующей энергию, вещество, информацию и знания из внешней среды [16].

Если с этих позиций рассматривать систему развития, тогда в экономике аналогом устойчивого и неустойчивого процессов будут стабильность и кризис; в биологии – дифференциация и рост; по Дарвину изменчивость и рост – основа эволюционного процесса. Цитируемые выдержки позволяют выполнить феноменологическое описание системы управления развитием.

В самоорганизующихся больших системах (БС) естественным образом осуществляется процесс развития (от простого к сложному, и от сложного к ещё более сложному [23]). Условием существования развития в БС должны быть два взаимодействующих процесса: устойчивый (стационарный) и неустойчивый (флуктуационный) [7, 8, 14, 16, 24, 25]. Причём, если БС находится в неустойчивом состоянии, тогда переход в устойчивое состояние не определен. И этот переход зависит от значений параметров системы.

Система может быть названа системой управления развитием, если выполняются следующие функции: 1) прогноз возможных переходов из стационарного состояния в нестационарное; 2) определение возможных направлений развития из нестационарных состояний; 3) продуцирования и преобразования вещества, энергии, информации и знаний внешней среды; 4) определение условий перехода из нестационарного в стационарное состояние; 5) реализация условий развития, используя вещество, энергию, информацию и знания.

Знание законов взаимодействия этих процессов может стать основой для разработки стратегии развития. Идея стратегии развития заключается в предсказании перехода БС из устойчивого состояния в неустойчивое состояние. Затем, в создании таких условий, при которых система перейдёт в желаемое стационарное состояние в направлении развития.

Особенности развития СТС

Наряду с функциями взаимодействия с ТС, СС осуществляет реализацию функций управления развитием. Причём, каждый представитель СС является «реализатором» этих функций. При этом, органом, согласующим функции управления, может быть нерегулярная (по мере необходимости) коллективная деятельность СС, направленная на выработку общих условий и правил реализации функций управления развитием. Для природных самоорганизующихся систем условия и правила диктуются внешней средой. Критерием успешности существования может служить уровень развития системы (признаки уровня развития отмечены выше). Поскольку любая СТС погружена в природную систему, то условия и правила существования и развития СТС зависят от законов функционирования природной системы. Поэтому важным фактором развития СТС является согласованность ритмик функционирования систем. Можно высказать гипотезу о том, что эффективность развития СТС может достигаться в условиях резонанса взаимодействия с природной системой и/или внешней СТС. При условиях близких к резонансу возникает такой эффект – малыми усилиями можно удерживать систему в состоянии устойчивости и управляемости.

Формальная модель СТС

Приведенные выше рассуждения позволяют подойти к качественному описанию пространства состояния СТС. Введём следующие переменные состояния СТС: $R(t)$ – общий ресурс, необходимый для поддержки СТС в устойчивом и флуктуационном состояниях, в общем случае $R(t) \leq M$ (ресурс ограничен); $U(t)$ – потери, связанные с поддержкой СТС на соответствующих стадиях; $W(t)$ – приобретения на стадиях ЖЦ СТС.

Рассмотрим следующие гипотезы.

1. На первой стадии потери на поддержку СТС в стабильном и управляемом состоянии увеличиваются. Это связано с накоплением латентных негативных факторов влияющих на управляемость и устойчивость СТС.
2. На первой стадии динамика приобретения, связанная например, с выявлением особенностей и закономерностями латентных факторов, не превосходит динамику потерь.
3. На второй стадии динамика приобретения превосходит динамику потерь.
4. На первой стадии общий ресурс уменьшается.
5. На второй стадии общий ресурс уменьшается, но значительно резче, чем на первой стадии.
6. По завершению стадий система извне приобретает дополнительный ресурс, за счёт нового приобретённого качества и вновь переходит в устойчивое управляемое состояние.
7. Скорость изменения потерь пропорциональна потерям за вычетом ресурса и обратной величины приобретения, т.е.:

$$U'(t) = aU(t) - bR(t) - \frac{c}{W(t)}.$$

8. Скорость изменения приобретения пропорциональна приобретениям за вычетом общего ресурса и величины обратной потерям:

$$W'(t) = dW(t) - gR(t) - \frac{h}{U(t)}.$$

9. Скорость изменения ресурса пропорциональна ресурсу за вычетом потерь и приобретений:

$$R'(t) = kR(t) - lU(t) - mW(t).$$

10. $\bar{f}(t, U, W, R, \bar{c}) = \{f_1, f_2, f, f_3\}_1$ – вектор функция управления развитием СТС. Особенность этой функции состоит в следующем:

10.1 В общем случае эта функция представлена как система нечётких правил и может быть, в частных случаях, сведена к классу кусочно-непрерывных функций.

10.2 На стадии устойчивости и управляемости задан вид функции. На фазе флуктуации вид функции не определён.

11. a_{ij} – в общем случае системные коэффициенты СТС являются функциями от переменных, характеризующих окружающую среду и внешние и внутренние негативные факторы. На стадии устойчивости и управляемости класс этих функций известен. На стадии флуктуации – класс не определён. В частных случаях эти коэффициенты могут быть представлены константами.
12. В общем случае при переходе СТС из стадии неустойчивости к стадии устойчивости и управляемости закон изменения состояния переменных СТС (п. 1) может быть изменён. В частном случае закон может остаться тем же. При этом, могут быть изменены системные константы.
13. Динамика поведения СТС представляется следующей нелинейной системой:

$$U'(t) = a_{11}U(t) - a_{12}R(t) - \frac{a_{13}}{W(t)} + f_1(t, W, R, C_1)$$

$$(1) \quad W'(t) = a_{21}W(t) - a_{22}R(t) - \frac{a_{23}}{U(t)} + f_2(t, U, R, C_2)$$

$$R'(t) = a_{31}R(t) - a_{32}U(t) - a_{33}W(t) + f_3(t, U, W, C_3)$$

- (2) Из содержательных соображений имеет место следующее ограничение:

$$i. \quad U(t), W(t), R(t) > 0.$$

- (3) В начальный момент времени $t = t_0$ известны U_0, W_0, R_0 .

Задача формального анализа СТС состоит в определении соотношений между параметрами (a_{ij}), при которых выполняются гипотезы 1 – 6.

Результатами анализа возможны следующие факты:

1. Решение системы (1) не противоречат выдвинутым гипотезам. Из этого следует, что формальная модель (1) может быть использована, при определённых ограничениях, для анализа реальных СТС.
2. Решение (1) частично либо полностью противоречит выдвинутым гипотезам. Из этого следует, что формальная модель не полностью отражает динамику поведения ТС (возможно необходимо изменить структуру (1) либо гипотезы 1 – 6 противоречивы).

Структурно-функциональная модель СТС

С учётом вышесказанного, рассмотрим СТС с кибернетической позиции (рис. 7). При этом, будем по возможности учитывать её особенности. Поскольку СТС является самоорганизующейся открытой системой, то её можно, при определённых условиях, представить как адаптивную систему. Общая структура адаптивной системы включает следующие составляющие: объект управления (ОУ), систему управления (первый контур) (СУ-1), обеспечивающий поддержку стабильного состояния системы; систему управления (второй контур) (СУ-2), обеспечивающий выход ОУ из неустойчивого состояния.

При этом для реализации необходимых функций выхода из неустойчивого состояния СУ-2 использует механизмы порождения и преобразования вещества, энергии, информации и знаний внешней среды. Компонентами объекта управления являются: ТС ОУ и СС ОУ. Эффективность функционирования ОУ определяется уровнем согласованности между ТС ОУ и СС ОУ. Система управления первого контура также включает две компоненты: ТС СУ-1 и СС СУ-1. Аналогично система управления второго контура включает ТС СУ-2 и СС СУ-2. Критериями эффективности для этих составляющих также являются уровни согласованности соответствия между ТС и СС. Следует ещё раз отметить, что целевые установки СУ-1 и СУ-2 различны (см. выше).

В чём же состоит упрощение такой адаптивной системы в сравнении с реальностью?

Различие состоит в следующем. В реальной СТС имеют место следующие факторы:

1. отсутствие чёткого различия между компонентами СС ОУ, СС СУ-1, СС СУ-2;
2. одновременная реализация функций, выполняемых СС;
3. функциональная избыточность;
4. внутренние противоречия между структурными компонентами СС и СС и ТС;
5. высокий уровень неопределенностей.

Полезность представления СТС как адаптивной состоит в возможности осуществить структуризацию системы с целью решения целого ряда задач анализа СТС. Например, решения таких вопросов: В какой фазе развития находится система? Как определить уровень развития системы? В чём неэффективность функционирования системы? С какими проблемами столкнётся система? Какие негативные стороны накопила система за определённый период времени? Какова история развития системы? и т.д.

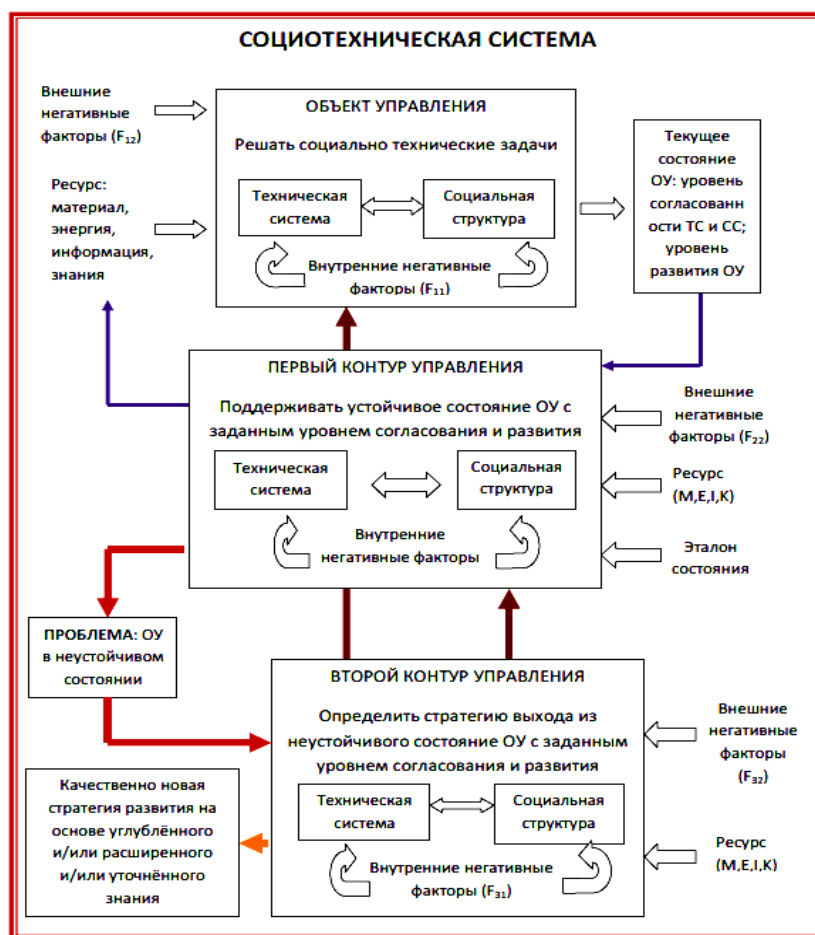


Рис. 7. Структура СТС

Методы анализа СТС

Анализу могут подвергаться различные структурные части СТС. Как уже упоминалось выше, в процессе анализа исследуются вопросы развития СТС: определяется стадия ее развития, а также качественные особенности, которыми характеризуется СТС на каждом этапе своего развития; определяются возможные проблемные ситуации, которые могут возникнуть на той или иной стадии и, исходя из полученной информации, продумываются возможные варианты разрешения выделенных проблемных ситуаций. Кроме того, анализ социотехнической системы позволяет в той или иной степени получить ответ на вопрос о состоятельности рассматриваемого сценария ее развития.

Для проведения анализа и ответа на поставленные вопросы развития СТС используются различные методы, которые позволяют: предсказать время, место и причины перехода системы в неустойчивое состояние; выявить процессы накопления негативных факторов, их причины и особенности. Кроме того, исследуются различные методы, обеспечивающие переход СТС в качественно новое состояние.

Методы анализа СТС, условно, можно разделить на следующие группы.

- Методы анализа деловых текстов (документация, инструкции, статьи т.д.), описывающих развитие и структурно-функциональную модель СТС.
- Методы анализа результатов экспериментов, наблюдений, опросов, интервью, исследований фокус-групп.
- Методы исследования результатов контент-анализа.
- Методы описания структурно-функциональных моделей СТС.
- Методы описания семантических моделей СТС.
- Методы описания онтологических моделей СТС.

- Методы формирования показателей функционирования СТС.
- Качественные и количественные методы анализа проблемных ситуаций.
- Методы поиска решений.
- Методы решения творческих задач.
- Методы моделирования.

Перечисленные методы, используемые совместно с другими информационными технологиями (такими как базы данных (БД), базы знаний (БЗ), интерфейсы и т.д.), позволяют построить информационно-аналитическую систему, которая будет способна: предложить унифицированную технологию формального описания одного из возможных стратов СТС; создать формальную инвариантную модель СТС; дать ответы на возникающие вопросы, связанные с развитием СТС, причинно-следственными связями ее перехода в качественно новое состояние; провести эксперимент, для анализа возможных последствий того или иного решения относительно дальнейшего развития СТС, и проанализировать его результаты; сформировать план реализации мероприятий как адаптивного механизма развития СТС.

Рассмотрим некоторые характерные примеры развития СТС с позиций качества функционирования на основе самоорганизации и возможные синергетические эффекты, лежащие в их основе.

Примеры и качественные особенности самоорганизации СТС

В данном разделе ограничимся описанием одного характерного примера, из представленных на рис. 8, и общих особенностей процесса самоорганизации с точки зрения решения проблемы формирования физических и логико-алгоритмических закономерностей, необходимых для разработки квантового алгоритма интеллектуального управления параметрами самоорганизации СТС. Основной проблемой, как показано на рис. 8, является разработка алгоритма управления общими параметрами самоорганизации и обоснование физического критерия, за счет которого осуществляется достижение развития СТС и оптимального распределения полезных ресурсов в процессе самоорганизации [17].

Физические принципы и математические модели развития и самоорганизации СТС будут рассмотрены в Части 2 настоящей работы. Здесь кратко обсудим одну из типовых моделей СТС на рис. 8 в виде взаимодействия индивидуальных пешеходов (во встречных потоках) в сооружениях с различной геометрией типа переходов, тоннелей, этажей, концертных залов и др. (рис. 9).

Рассмотрим ниже на конкретном примере физическую интерпретацию общих признаков, присутствующих в процессе самоорганизации на рис. 8.

Пример 1: Самоорганизация пешеходов во встречных потоках

Решение проблемы оптимального проектирования пешеходных разветвленных переходов различной геометрии, проектирование многоэтажных зданий и др. с учетом необходимости безопасности при эвакуации и нештатных ситуациях типа пожаров, землетрясений и т.п. столкнулось с задачей исследования взаимодействия в системе «человек + сооружение» и рассматривается как СТС. Обсудим физическую интерпретацию модели процесса самоорганизации. Рассмотрим общие свойства и признаки качественного описания некоторых квантовых эффектов в самоорганизации эволюционных процессов. В качестве наглядного примера обсудим эволюционный процесс самоорганизации пешеходов в различных типах коридоров [27, 28].

На рис. 10,а показаны динамика движения пешеходов в ограниченном пространстве с различной геометрией и различные типы кооперативного поведения людей, возникающие в процессе самоорганизации толпы пешеходов.

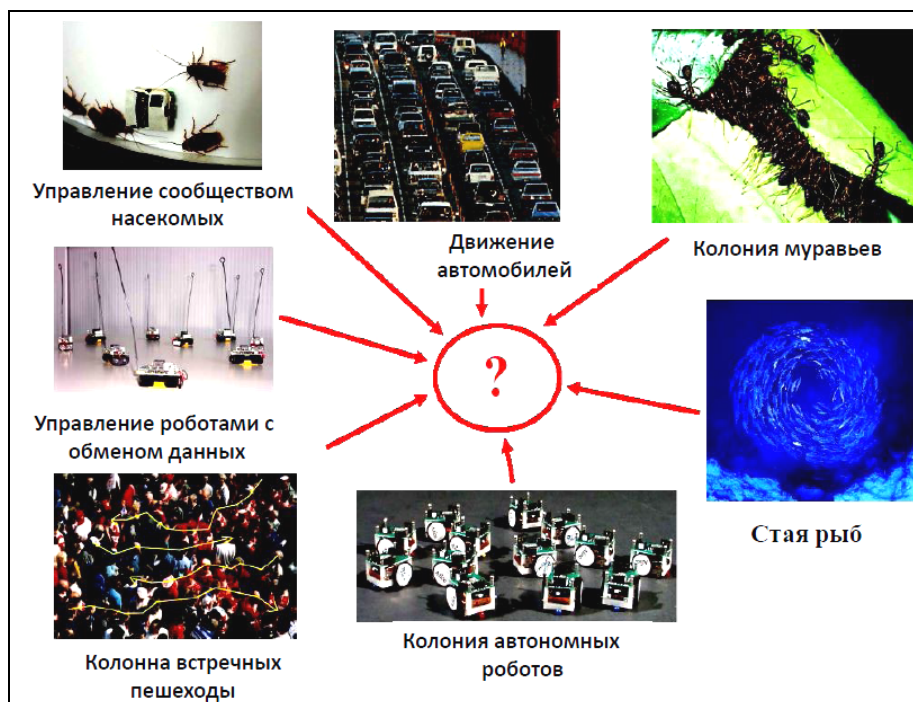


Рис. 8. Примеры самоорганизации в природных, искусственных системах и СТС

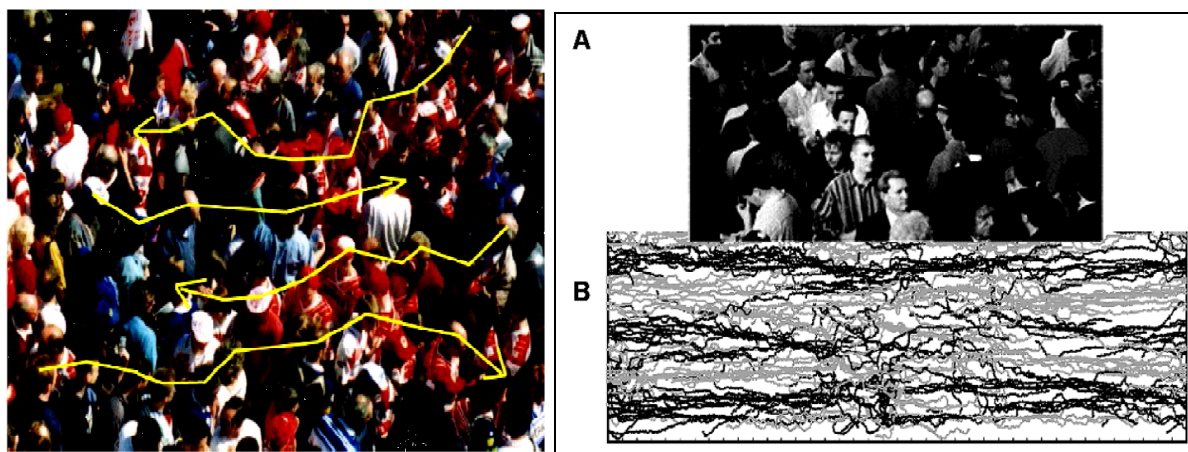


Рис. 9. Примеры встречных потоков пешеходов

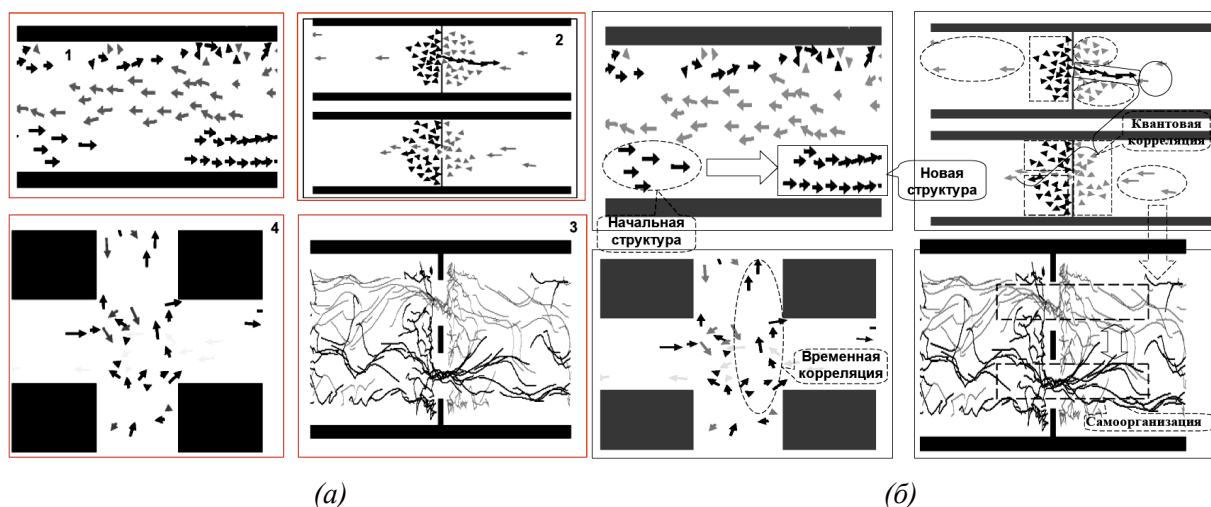


Рис. 10. Динамическое поведение встречных пешеходов в толпе, тоннелях и на перекрестке как СТС (а) и формы самоорганизации (б)

Рисунок 10,б демонстрирует феноменологию возникновения новых структур за счет различных типов квантовой корреляции (временной и пространственной), влияющей на вид самоорганизации при информационном взаимодействии потоков пешеходов.

В частности, на рис. 10,б (Блок 1 на рис. 10,а) показан процесс самоорганизации (позволяющий избегать столкновений) встречных потоков пешеходов, используя суперпозицию в виде кооперации пар людей. Аналогично рис. 10,б демонстрирует на микроуровне процесс обмена информацией между отдельными парами пешеходов с запутанными состояниями на встречных потоках пешеходов в геометрически разделенных перегородками для пешеходов пространствах (Блок 2 на рис. 10,а). Роль интерференции также демонстрируется на рис. 10,б (для случая Блока 3 на рис. 10,а). Рисунок 10,б демонстрирует временную корреляцию для случая Блока 4 на рис. 10,а.

Обобщенное уравнение движения пешеходов имеет вид:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = m_i \frac{v_i(t)\vec{e}_{i_0}(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{(j \neq i)} \vec{f}_{ij} + \sum_W \vec{f}_{iW}, \quad (1)$$

где $m_i \frac{v_i(t)\vec{e}_{i_0}(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i}$ – член, характеризующий социально-психологический фактор взаимодействия пешеходов; N – количество пешеходов; i – индивидуальный пешеход; m_i – масса индивидуального пешехода; v_i – планируемая скорость i – го индивидуального пешехода; \vec{e}_{i_0} – направление движения i – го индивидуального пешехода; \vec{v}_i – реальное значение скорости i –го индивидуального пешехода; τ_i – характерное время, за которое i –й индивидуальный пешеход адаптирует свою скорость к данной ситуации; $\sum_{(j \neq i)} \vec{f}_{ij}$ – относительная скорость i –го индивидуального пешехода по отношению к другим пешеходам j ; \vec{f}_{ij} – сила взаимодействия i –го индивидуального пешехода с другими j –ми пешеходами; \vec{f}_{ij} – сила противодействия между пешеходами i и j , и определяется как
$$\vec{f}_{ij} = \left\{ A_i e^{\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i} \right)} + kg(r_{ij} - d_{ij}) \right\} \hat{n}_{ij} + \kappa g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ij} \hat{t}_{ij}$$
 где $A_i e^{\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i} \right)} \hat{n}_{ij}$ – член, характеризующий тенденцию противодействия; A_i и B_i – постоянные; $d_{ij} = \|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|$ – расстояние между центрами масс i –го и j –того пешеходов; $r_{ij} = r_i + r_j$; $\hat{n}_{ij} = \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{d_{ij}}$ – нормализованный вектор расстояния между пешеходами i и j ; r_i, r_j – радиусы действия пешеходов i и j ; если $d_{ij} < r_{ij}$, то пешеходы i и j контактируют; если пешеходы i и j не контактируют, то $g = 0$; $\kappa g(r_{ij} - d_{ij}) \hat{n}_{ij}$ – сила притяжения между пешеходами i и j ; κ – большая величина; $\kappa g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ij} \hat{t}_{ij}$ – сила трения скольжения, препятствующая относительно тангенциальному движению зацепления, если пешеход i близко соприкасается с пешеходом j ; \hat{t}_{ij} – тангенциальное направление; $\Delta v_{ij} = (\vec{v}_j - \vec{v}_i) \cdot \hat{t}_{ij}$ – отклонение тангенциальной скорости; $\sum_W \vec{f}_{iW}$ – член, зависящий от скорости вблизи от стены W ; \vec{f}_{iW} – сила сопротивления (отталкивания) i –го пешехода от стены W и определяет отдельные взаимодействия между i –ым пешеходом и стеной W ; определяется в виде
$$\vec{f}_{iW} = \left\{ A_i e^{\left(\frac{r_i - d_{iW}}{B_i} \right)} + kg(r_i - d_{iW}) \right\} \hat{n}_{iW} + \kappa g(r_i - d_{iW}) (\vec{v}_{iW} \cdot \hat{t}_{iW}) \cdot \hat{t}_{iW};$$
 $A_i e^{\left(\frac{r_i - d_{iW}}{B_i} \right)}$ – определяет стремление к отталкиванию от стены W ; d_{iW} – дистанция между стеной и i –ым пешеходом; \hat{n}_{iW} – нормализованный вектор расстояния между пешеходами i и стеной W ; \hat{t}_{iW} – тангенциальный вектор к линии между i –ым пешеходом и стеной W ; $\kappa g(r_i - d_{iW}) \hat{n}_{iW}$ – сила сжатия при сопротивле-

нии i -го пешехода от стены W ; $kg(r_i - d_{iW})(\hat{v}_{iW} \cdot \hat{t}_{iW}) \cdot \hat{t}_{iW}$ – сила трения скольжения, препятствующая относительному тангенциальному движению зацепления, если пешеход i близко соприкасается со стеной W .

Рассмотрим результаты моделирования движения встречных потоков пешеходов в нештатных ситуациях типа паника при пожаре, тревоге и др., представляющие особый интерес в задачах проектирования туннельных разветвленных пешеходных переходов, подземных сооружений, высотных зданий и т.п. с учетом обеспечения необходимого уровня безопасности в условиях нештатных ситуаций. Зададим в модели (1) следующие параметры: v_o (проектируемая скорость i -го пешехода) = 0.6 м/с (замедленного движения); 1 м/с (нормального движения); 1.5 м/с (укоренного движения); τ_i (время ускорения) = 0.5 с; $m_i = 80kg$; параметры:

$$A_i = 2(10)^3 H; B_i = 0.08m; k = 1.2(10)^5 \frac{K^2}{c^2}; \kappa = 2.4(10)^5 \frac{K^2}{m \cdot c}; 2r_i = [0.5m, 0.7m].$$

На рис. 11 приведены результаты моделирования.

Движение панически настроенных пешеходов с постоянной скоростью в толпе $v_{i_o} = v_o$ показано на верхнем рис. 11,а; (результаты моделирования качественно поясняют критическую ситуацию поведения панически настроенных зрителей на футбольном матче полуфинала кубка Англии, 15 Апреля, 1989г., в г. Sheffield, см. нижний рис. 11,а; погибло 95 человек); на рис. 11,б показаны результаты моделирования панически настроенных посетителей ночного клуба (The Rhode Island Night Club, нижний рис. 11,б) при пожаре, когда посетители были ограничены в движении при выходе из зала в коридор плохо регулируемой выходной дверью; на рис. 11,в показаны результаты моделирования панически настроенных колонии муравьев, имитирующих аналогичное поведение людей в курительной комнате с двумя выходами (размер комнаты 15*15м, количество людей – 90, ширина дверного проема 1.5м).

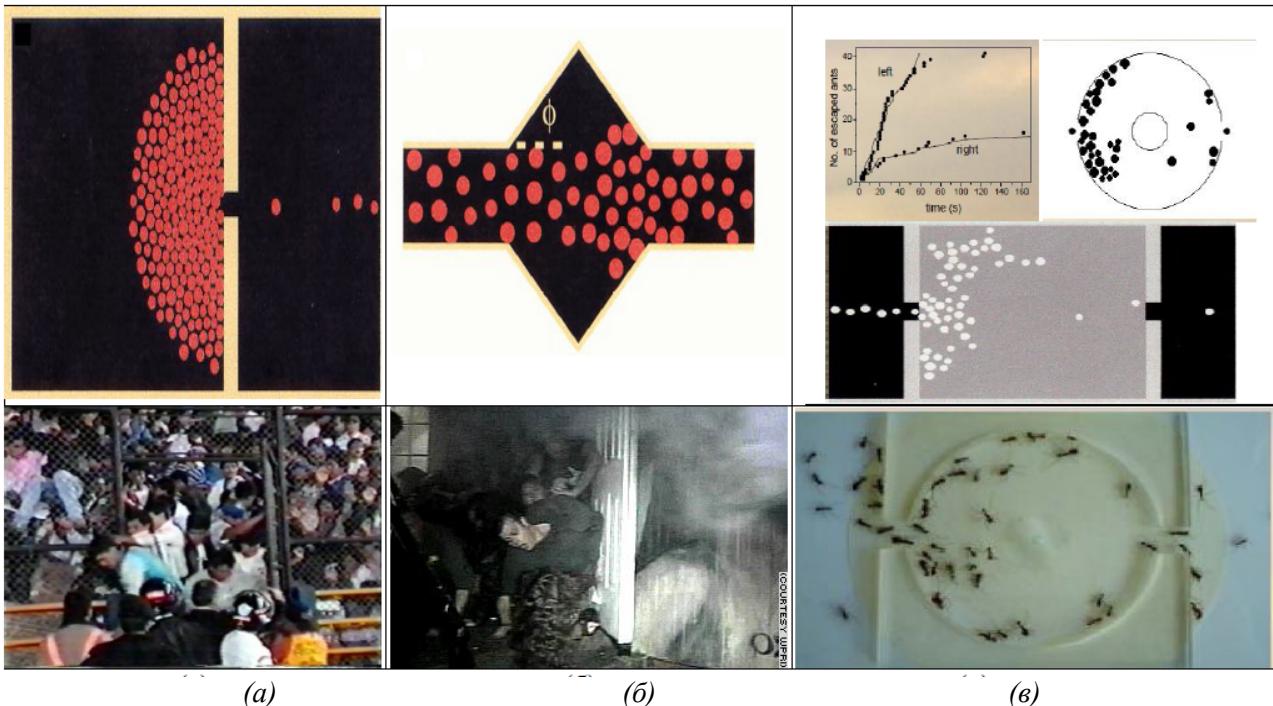


Рис. 11. Моделирование движения встречных потоков пешеходов в нештатных ситуациях типа паника при пожаре, тревоге и др. (пояснения в тексте)

В рассмотренных моделях учитывался также принцип классической теории социального интегрирования индивидуумов Дургейма [29], (разработанный в 1893г.). Основным тезисом теории является наличие мотивирующей интегрирующей социальной силы, объединяющей индивидуумы в общество, в котором единым образом согласованы и адаптированы ценности и нормы сообщества. Однако в теории также показано [29], что интегрирующая сила содержит мотивированные недружелюбно настроенные силы, которые разделяют на кластеры индивидуумы и формируют управляющие

воздействия для отличия сформированных кластеров. Если интегрирующие силы являются достаточно преобладающими и индивидуальные особенности распределены случайным образом, то динамическая модель порождает т.н. монокультуру. И, наоборот, если недружелюбно настроенные социальные силы преобладают, то динамическая модель порождает состояние индивидуализма, не содержащего социальной структуры. Между указанными состояниями нет четкой границы и фазовый переход из одного состояния в другое имеет нечеткий характер при изменении относительного преимущества сил. Более того, существует промежуточное состояние, в котором образуется кластер, структура которого не зависит от начальных условий. В данном состоянии образовавшаяся структура содержит робастное большинство кластеров (robust pluralism), которое устойчиво и адаптивно к размерности кластера: если размерность кластера мала, то роль в динамике развития кластера незначительна; если размерность кластера велика, то роль индивидуумов возрастает и приводит к образованию малых кластеров.

Рассмотрим кратко особенности модели, описывающей данные факторы. В качестве модели взаимодействующих индивидуумов модель активных взаимодействующих агентов. Популяция состоит из N агентов, представляющих множество $i = 1, \dots, N$ индивидуумов; каждый i индивидуум характеризуется наличием собственного состояния $o_i(t)$ (opinion) в момент времени t . Под состоянием понимается поведение, уверенность, нормы, или другие атрибуты описания индивидуальных характеристик агента в социальной среде, численные значения изменяются между минимумом и максимумом на соответствующей шкале метрик. Динамика системы моделируется в виде последовательности событий. В каждый момент времени $t' = k / N$, $k \in \{1, 2, \dots, N\}$ случайным образом выбирается агент i и изменяется его состояние o_i по следующему закону:

$$\Delta o_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N (o_j - o_i) w_{ij}}{\sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij}} + \xi_i, \quad (2)$$

где первый член в (2) моделирует социальную интегральную силу в теории Дургейма.

Агент стремится адаптироваться к состояниям o_j других агентов j популяции. Социальный фактор w_{ij} характеризует интенсивность влияния агента j на агента i , которое возрастает, если расстояние между состояниями $d_{ij} = |o_j - o_i|$ уменьшается. Количественно социальный фактор w_{ij} определяется в виде $w_{ij} = \exp\left\{-\frac{d_{ij}}{A}\right\} = \exp\left\{-\frac{|o_j - o_i|}{A}\right\}$, где A определяет область социального влияния друг на друга. Дезинтегрирующие силы, действующие на состояние агентов, определяются интенсивностью белого шума ξ в (2) в виде стандартного значения отклонения $\sigma_{it} = s \sum_{j=1}^N e^{-d_{ij}}$. Величина параметра s характеризует интенсивность дезинтегрирующих сил в сообществе агентов.

На рис. 12 показаны характерные области формирования кластеров и фазы перехода в различные состояния пешеходов в зависимости от параметров s и A . Результаты на рис. 12 показывают характерные признаки формирования кластеров пешеход в зависимости от интенсивности социальных сил в виде монокультур пешеходов с одинаковыми состояниями и наличие агрессивности при изменении параметров s и A .

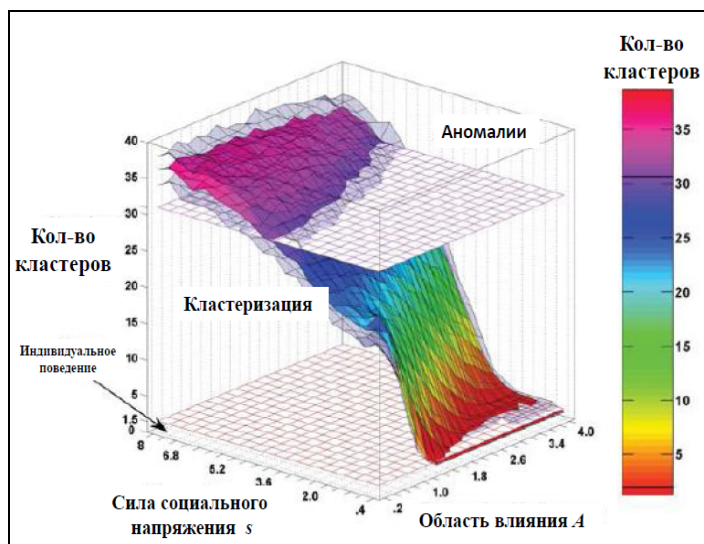


Рис. 12. Зависимость формирования кластеров из индивидуальных пешеходов в зависимости от напряженности социальной силы s и области влияния взаимодействия A

Рассмотренный подход к моделированию самоорганизации СТС в виде взаимодействующих потоков пешеходов с наличием социальных интегрирующих и дезинтегрирующих сил используется, например, в гражданском строительстве и архитектуре концертных площадок с учетом нештатных ситуаций в виде паники при пожаре и др.

На рис. 13 показаны возможные архитектурные решения выбора типа заграждения для движения зрителей (рис. 13,а) на оптимальное распределение потока зрителей при различных геометрических параметрах заграждений (рис. 13,б).

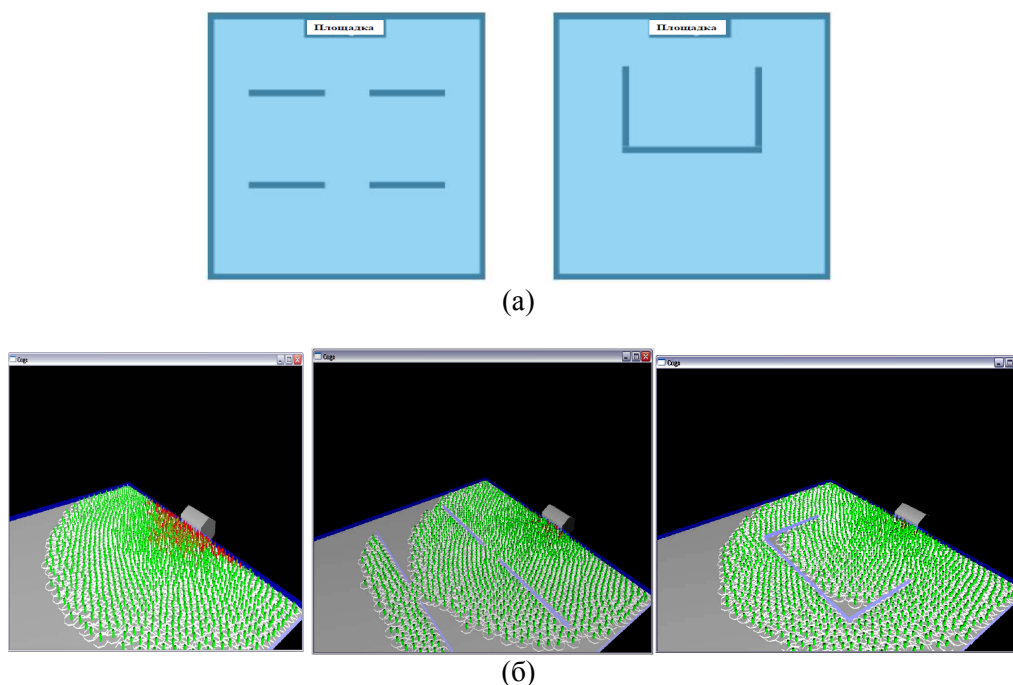


Рис. 13. Влияние типа заграждений на распределение потока зрителей при панике

Таким образом, самоорганизация в СТС за счет учета влияния социальных сил позволяет формировать практические решения задач проектирования гражданских сооружений, включая нештатные ситуации.

Термодинамический критерий устойчивого развития СТС

С точки зрения теории управления модели (1) и (2) можно представить в обобщенном виде как $\dot{q}_i = \varphi(q_i, u, t)$, где q_i – обобщенная координата СТС, u – управляющая сила. Функцию Ляпунова, характеризующую устойчивое развитие СТС, можно записать в следующем виде [31]:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i^2 + \frac{1}{2} S^2, \quad S = (S_{OY} - S_P), \quad (3)$$

где S_{OY} – производство энтропии в объекте управления и S_P – производство энтропии в регуляторе.

Взяв производную от функции Ляпунова, получим термодинамический критерий устойчивого развития СТС, представленный на рис. 14.



Рис. 14. Термодинамический критерий робастного устойчивого развития СТС

Приведенный на рис. 14 термодинамический критерий аналитически устанавливает соотношения между важнейшими качественными характеристиками динамических процессов такими, как робастность, устойчивость и управляемость развития СТС.

Проиллюстрируем применение приведенного термодинамического критерия к анализу развития СТС на примере анализа эволюции и стратегий развития высоких технологий. В основе описания эволюции лежит уравнение Акаева, описывающего большие волны смены технологических укладов Кондратьева (рис. 15) [24].

Анализ эволюции и стратегий развития технологий с позиции теории сложности




Институт сложности в Санта-Фе
Теория инновационного развития
Брайана Артура
Теория техноциноза Л.Г. Бадалян,
В.Ф. Криворотова
Структурно-демографические
модели П.В. Турчина

Н.Д. Кондратьев
(4.03.1892-17.09.1938)

Уравнение А. Акаева:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} - \left[\sigma_0 - \frac{4}{3} \kappa \lambda v^3 \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] \frac{dy}{dt} + \alpha_0^2 \left[1 - \frac{s(1-s)}{\kappa} \right] y = \varphi(t).$$

- **Большие волны**
- **Смена технологических укладов**
- **Шестой технологический уклад – биотехнологии, проектирование живого, высокие медицинские технологии**

Рис. 15. Вид уравнения Акаева и качественные характеристики технологических укладов

На рис. 16 показаны большие волны смены технологических укладов как решение уравнения Акаева.



Рис. 16. Смена технологических укладов по Кондратьеву

На рис. 17 показаны три последних технологических укладов, подтверждающие на практике существование «больших волн» смены технологических укладов.



Рис. 17. Примеры трех технологических укладов

Данный результат показывает роль риска инвестиций, являющихся аналогом потерь полезного ресурса в процессе развития СТС. Следовательно, устанавливается соответствие между интенсивностью развития СТС, риском и пропорциональностью инвестиций, обеспечивающее устойчивость траектории развития СТС.

На рис. 18 показан анализ уравнения Акаева и приведено условие устойчивого развития технологических укладов в зависимости от соотношения между пропорциональностью и риском (потерь) инвестиций развития высоких технологий.



Рис. 18. Анализ уравнения Акаева и критерий устойчивого развития технологических укладов

Приведенное условие следует из термодинамического критерия (рис. 14), так как в уравнении Акаева скорость производства энтропии определяется в виде $\left[\sigma_0 - \frac{4}{3} \kappa \lambda v^3 \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dy}{dt}$. Так как

член вида $\frac{dy}{dt} \cdot \frac{dy}{dt} \geq 0$, то ограничение второго закона термодинамики требует выполнения условия $\sigma_0 - \frac{4}{3} \kappa \lambda v^3 \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \leq 0$, что и показано на рис. 18.

Таким образом, рассматривая модели СТС с позиций качества функционирования, показателями которого являются устойчивость, управляемость и робастность, удовлетворяющие термодинамическому критерию, можно констатировать следующее. На стадии стабильного состояния СТС – устойчивость, управляемость и робастность согласованы, благодаря поддерживаемым условиям самоорганизации. В стадии флуктуационной – устойчивость низкая; управляемость высокая, но при этом класс, образно говоря, управляющих воздействий неизвестен; робастность (нечувствительность) СТС высокая. Переход из флуктуационного в новое устойчивое состояние, обеспечивается за счёт перераспределения вещества, энергии, информации. При этом, за счёт самоорганизации создаются новые соотношения перераспределения между уровнями устойчивости, управляемости и робастности, согласно приведенному на рис. 18 термодинамическому критерию.

Самоорганизация и управление развитием СТС

Из анализа свойств моделей самоорганизации, проведенного в [32], следует наличие общих биологически воспроизводимых и экспериментально обнаруженных *квантовых* эффектов, присутствующих в процессах самоорганизации, а сами модели основаны на следующих *информационно-термодинамических* концепциях: (i) взаимодействия между элементами на микро- и макро-уровнях осуществляются с обменом информацией. Так, в модели интеллектуальных агентов микроуровень представляется в виде информационного пространства, на котором проводится обмен информацией между агентами и приводит к уменьшению энтропии на макроуровне за счет возрастания энтропии на микроуровне; (ii) коммуникация и передача информации на микроуровне (явление «квантовый мираж» в квантовых кораллах, см. рис. 19); (iii) различные типы квантовой корреляции спинов (или запутанных состояний – entanglement), используемых при проектировании различных самоорганизующихся структур; например, в квантовых точечных структурах – quantum dot; (iv) координированное управление за счет извлечения и обмена информацией; например, самоорганизация коллектива роботов или колонии муравьев за счет информационно-энтропийного обмена между агентами и уровнями организации.

Таким образом, учитывая перечисленные свойства, квантовый алгоритм самоорганизации (quantum self-organization algorithm) может быть положен в основу многих СТС, представленных на рис. 19.

В природных системах искомое свойство робастности, как показано в [32], закодировано в алгоритме воспроизводства процесса самоорганизации. Поэтому такие системы могут автономно справиться с непредвиденным событием, привлекая различные (но близкие по идее) подходы: 1) адаптация (обучение, эволюция), в рамках которой система корректирует свое поведение, чтобы справиться с изменением событий; 2) упреждение (когнитивность), проявляющееся в том, что система может «предсказать» изменения ситуации и уточнить свое поведение (это свойство выступает специальным случаем адаптации и не требует от системы оценки ситуации до ее возникновения); 3) робастность, состоящая в том, что система способна функционировать и достигать цели при возникновении непредвиденных возмущений определенного вида. Данное свойство в природных системах достигается на основе модульности, вырождения, распределенности или за счет наличия избыточности.

Надежное функционирование естественных самоорганизующихся систем обеспечивается путем использования их отдельных свойств, комбинации указанных подходов и алгоритмического формирования комплекса свойств в изменяющихся или непредвиденных условиях.



Рис. 19. Примеры применения квантового алгоритма самоорганизации в СТС

На рис. 20 отмечены перечисленные алгоритмические особенности моделей самоорганизации.



Рис. 20. Термодинамический критерий самоорганизации и устойчивого развития СТС
(ПАП – программно-аппаратная поддержка; ОБЗ – оптимизатор баз знаний)

Обобщенной физической характеристикой самоорганизующихся систем является следующая характеристика: они обладают *робастными* и/или *гибкими* структурами. При этом за счет отмеченных свойств сам процесс биологически воспроизводимой самоорганизации включает в себя процессы самообучения и самоадаптации. Наличие свойства самоорганизации в природных и биологически воспроизводимых системах объясняется рядом факторов [17].

Первым фактором наличия толерантности является *избыточность* или свойство *распределения* самоорганизации между выделенными «защищенными» зонами эволюции структуры системы, в которых выполняется свойство самоорганизации. Вторым фактором наличия внутренней робастности является её проявление за счет рандомизации, флуктуаций или шумов. Третьим фактором является проявление стабилизирующих эффектов гибких структур в контурах обратных связей.

Как следует из рис. 20 (см. уровень 3), в общем случае непредвиденных ситуаций управления процесс проектирования оптимальной модели СТС с использованием информационно-термодинамических критериев гарантирует инвариантное достижение цели управления с помощью квантового алгоритма самоорганизации в реальном времени с требуемым уровнем робастности СТС. Доказательство существования данного свойства эффективно продемонстрировано в [17] на примере решения задачи оптимального многокритериального управления в непредвиденной ситуации. Данный факт означает, что в процессе самоорганизации поддерживается термодинамическое соотношение между устойчивостью, управляемостью и робастностью (см. рис. 20).

Квантовые алгоритмы составляют физически обоснованный базис не только техники ускорения вычислений (за счет использования техники массивных параллельных вычислений), но и для поиска решений сложных проблем управления СТС. В этом случае эффективно используются такие квантовые законы, как *суперпозиция* для расширения пространства возможных решений, квантовый массивный параллелизм процессов вычислений для ускорения поиска решений и конструктивная квантовая интерференция с целью извлечения искомого решения [17, 32].

Модель квантового алгоритма управления самоорганизацией, включающего перечисленные эффекты и физические особенности квантовых операторов моделей самоорганизации, а также вывод обобщенного термодинамического критерия устойчивого развития СТС будут рассмотрены в Части 2 данной статьи.

Заключение

В статье рассмотрено представление управления в СТС как управление развитием. Предложен структурный подход к системному анализу построения и исследования моделей СТС. Суть подхода состоит в том, что на первых этапах анализа проблемной ситуации строятся феноменологические модели с учётом проблемной ситуации и далее осуществляется структурно-функциональное построение системной модели СТС на основе модифицированного адаптивного представления. Уточнение структурно-функционального представления осуществляется на основе пространственно-временной логики с учётом изменения структуры и реальных особенностей СТС. Далее предлагается формализация СТС на основе её качественных особенностей. Использование термодинамического критерия функционально связывающего такие показатели как устойчивость, управляемость и робастность позволяют применить теорию интеллектуальных вычислений таких квантовые мягкие вычисления и квантовые алгоритмы для создания метрик и формальных моделей интеллектуального управления развитием СТС.

Список литературы

1. Кун Т. Структура научных революций. – М.: Прогресс, 1977.
2. Хиценко В.Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. – М.: КомКнига, 2005.
3. Алексеев Н.С. Теория управления «Эпохи без закономерностей» // Менеджмент в России и за рубежом. – 2000. – №3.
4. Иберт Д. Взаимодействующие системы в развитии. – М.: Мир, 1968.

5. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. – М.: Мир, 1982.
6. Моисеев Н.И. Алгоритм развития. – М.: Наука, 1987.
7. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: Мир, 1986.
8. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
9. Моисеев Н.И. Универсальный эволюционализм // Вопросы философии. – 1991. – №3.
10. Моисеев Н.И. О самоорганизации общества и месте Разума в его развитии // Социально-политический журнал. – 1993. – №3.
11. Эшби У.Р. Принципы самоорганизации. – М.: Наука, 1994.
12. Бык Ф.Л., Китушин В.Г. Понятийные аспекты новой парадигмы управления // Менеджмент в России и за рубежом. – 2007. – №5.
13. Петров Б.Н., Уланов Г.М., Ульянов С.В., Хазен Э.М. Информационно-семантические проблемы управления и организации. – М.: Наука, 1977.
14. Nicolis G., Prigogine I. Self-organization in nonequilibrium systems: From dissipative structures to order through fluctuations. – N.Y.: Wiley Interscience Publ. – 1977.
15. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наукова Думка, 1982.
16. Самарский А.А., Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Михайлов А.П. Режимы с обострением в задачах квазилинейных параболических уравнений. – М.: Наука, 1987.
17. Ulyanov S.V., Litvintseva L.V., Ulyanov S.S. Quantum information and quantum computational intelligence: Applied quantum soft computing in AI, quantum language and programming in computer science, quantum knowledge self-organization and intelligent wise robust control (4th edit.). – Milan: Note del Polo (Ricerca), Universita degli Studia di Milano. – 2010. – Vol. 86.
18. Sumpter D.J.T. The principle of collective animal behaviour // Phil. Trans. R. Soc. – Vol. 361. – Pp. 5-22.
19. Low D.J. Following the crowd // Nature. – Vol. 407. – Pp. 465-466.
20. Altshuler E., Ramos O., Nunez Y., Fernandez J. Panic-induced symmetry breaking in escaping ants // American naturalist. – December 2005.
21. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических системах. – М.: Наука, 1985.
22. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
23. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного: Введение. – М.: Мир, 1990.
24. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. – М.: Едиториал УРСС. – 2002.
25. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики: Синергетическое мировидение. – М.: КомКнига. – 2005.
26. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems // Reviews of Modern Physics. – 2001. – Vol. 73. – № 4. – Pp. 1067-1141.
27. Helbing D., Molnar P. Social force for pedestrian dynamics // Physical Review. – 1995. – Vol. 51. – № 5. – Pp. 4282-4286.
28. Mas M., Flache A., Helbing D. Individualization as driving force of clustering phenomena in humans // arXiv: 1007.5391v1. [physics.soc-ph]. – 2010.
29. Durkheim E. The division of labor in society. – N. Y.: The Free Press, 1997.
30. Hornsey M.J., Jetten J. The individual within the group: Balancing the need to belong with the need to be different. // Pers. Soc. Psychol. Rev. – 2004. – Vol. 8. – Pp. 248-264.

31. Петров Б.Н., Уланов С.В., Ульянов Г.М. Динамические системы со случайной и нечеткой структурами // Итоги Науки и Техники. Сер. Техническая кибернетика. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1979. – Т. 11. – С. 3-76.
32. Литвинцева Л.В., Ульянов С.В. Интеллектуальные системы управления. Ч. I: Квантовые вычисления и алгоритм самоорганизации // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2009. – № 6. – С. 69-97.