

УДК 621.856

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ГУМАНИТАРНЫХ И ТОЧНЫХ НАУК

**Е. И. Перовская,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Основной задачей данной работы является построение математической теории для описания метасистемы объединения разнородных моделей компонент социумов, являющихся результатами исследований как гуманитарных, так и точных наук. Разработанная теория и формальные методы предназначены для междисциплинарных исследований, учитывающих влияние результатов различных аспектов жизнедеятельности общества и природы как на отдельные социумы, так и на цивилизацию в целом при решении проблемы жизнеспособного (устойчивого) развития. Первая часть статьи содержит постановку проблемы создания имитационных моделей систем Человек–Культура–Технологии–Природа.

The work is directed on a solution of a fundamental problem of creation of global community models for checking of administrative solutions and their consequences without experimenting on Human and Nature. The basic goal is development of the mathematical theory of association of diverse community components models, which are researches results of the both humanitarian and exact sciences in uniform system. The developed theory and formal methods are intended for interdisciplinary researches which take into account influence of results of various aspects of functioning of a society and a nature, both on separate communities, and on a civilization as a whole at the decision of a problem of viable (sustainable) development. The first part of article contains statement of a problem of Human-Culture-Technology-Nature system simulation.

## Системы и системный анализ

Несколько слов о терминах, которые будут использованы в этой статье. Не будем исследовать все многообразие смыслов, которые вкладываются в понятия «система», «модель», «системный анализ». Если заглянуть в Интернет, то по каждому из этих понятий можно найти тысячи статей. Споры идут не одно десятилетие, но это, видимо, и показывает, что понятие, отражающее какие-то свойства «чего-либо», очень сильно зависит от того, кто и что именно хочет сказать об этом «что-либо». Не будем спорить, просто уточним, что именно под каждым термином будем понимать в данном контексте. Начнем с термина, отражающего любое представление человека о чем бы то ни было – «модель».

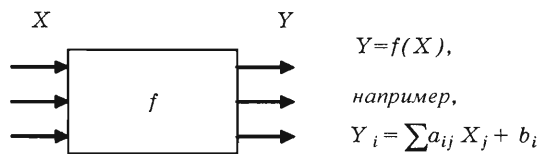
Под термином «модель» будем понимать любое представление объекта (процесса или системы) в форме, отличной от формы его существования,

отражающего его основные свойства, необходимые для решения конкретной задачи. Каждая модель адекватна только задаче, поставленной относительно моделируемой системы.

*Системой* будем называть совокупность компонент, объединенных между собой для получения определенных свойств и достижения целей, которые не могут быть достигнуты ни одной компонентой или неполной их совокупностью.

Под *компонентой* системы будем понимать любую часть системы, обладающую собственными целями и свойствами, необходимыми системе для достижения ее целей. Это означает, что в любой системе могут возникать противоречия между целями системы и целями ее компонент. Когда компонента может (или считает, что может) достигнуть своей цели самостоятельно, она выходит из системы, и ... так распадаются империи.

*Элементами системы* назовем неделимые части системы или компоненты, не имеющие собствен-



■ Рис. 1. Структура задачи «черный ящик»

ных целей, но обладающие свойствами, необходимыми системе для достижения ее целей.

В процессе формализации можно будет уточнять свойства введенных понятий, в соответствии с возникающими задачами или целями.

Несколько слов о системном анализе. На многочисленных конференциях по различным предметным и проблемным областям часто встречаются доклады с названием «Системный подход...» или «Системный анализ...», но редко можно получить ответ на вопрос, чем отличается системный подход от комплексного или системный анализ от анализа. В данной работе исходить будем из типа задач. Все задачи, возникающие при исследованиях, проектировании, диагностике, идентификации объектов, процессов или систем можно поделить на два класса по их целям.

К первому классу относятся задачи типа «черного ящика», когда задано (или наблюдается) множество значений входов  $X$  и выходов  $Y$  и требуется узнать закон функционирования объекта, т. е. функцию  $f$ , с помощью которой выходы объекта выражаются через входы  $Y=f(X)$  (рис. 1).

Ко второму классу относятся задачи, в которых интерес представляют влияние результатов функционирования исследуемой системы на внешнюю среду и влияние результатов жизнедеятельности внешней среды на исследуемую систему, т. е. все выходы компонент должны иметь компоненты-приемники и все входы должны иметь компоненты-источники. Рассматриваемая система взаимо-

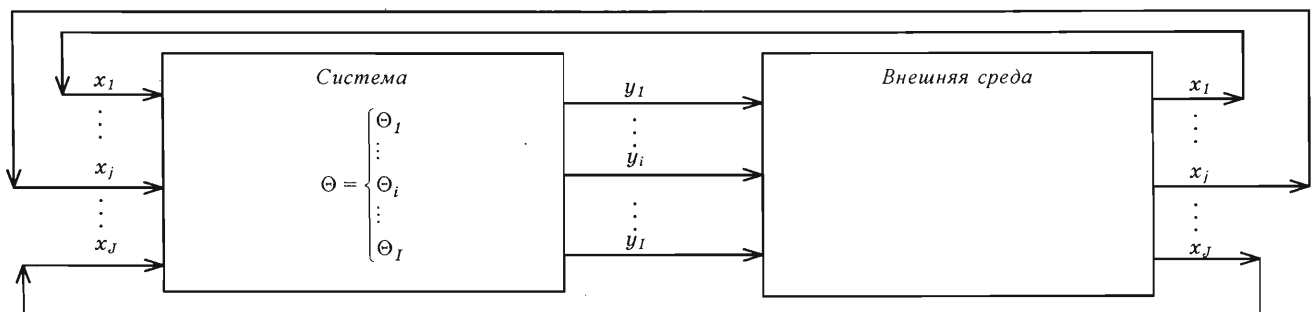
связанных компонент и внешней среды должна быть замкнутой (рис. 2).

Этот класс задач связан с появлением сложных многосвязных систем с компонентами различной природы, с технологиями функционирования компонент, способными уничтожить другие компоненты системы или внешнюю среду. Поэтому нельзя не учитывать связи, которые могут показаться слабыми, но при замыкании через нелинейные компоненты могут вызвать катастрофические последствия для отдельных компонент или всей системы.

Первый класс задач позволяет описать и анализировать правила функционирования каждой компоненты, а второй класс анализирует взаимовлияние разнородных компонент между собой и системы с внешней средой. Совокупность методов исследования сложных систем и решения задач второго класса и будем относить к системному анализу.

Результатом решения задач первого типа является выбор однородной математической модели (алгебраической, дифференциальной, разностной, логической, реляционной и т. д.), позволяющей наилучшим образом описать процесс преобразования входов в выходы. Для задач второго типа этот метод исследования невозможен из-за разнородности моделей компонент, взаимодействующих между собой и внешней средой по входам и выходам, поэтому возникает проблема объединения разнородных моделей компонент в единую модель системы и системы с внешней средой.

В международных публикациях по созданию моделей процессов, объектов и систем используются два различных термина: modeling – для моделирования однородных процессов, объектов и систем и simulation – для моделирования сложных систем с разнородными компонентами, функционирующими параллельно во времени. Иногда их называют мультиагентными системами. Именно это понятие будет вложено в термин «имитационное моделирование», и именно этому классу систем посвящена данная работа.



■ Рис. 2. Модель системы, замкнутой на внешнюю среду:

$$X_I = (x_1 \dots x_j \dots x_J), Y = (y_1 \dots y_i \dots y_I);$$

$$\Theta = (\Theta_1 \dots \Theta_i \dots \Theta_I) - \text{множество разнородных функций преобразования } \Theta: X \rightarrow Y$$

### «Вавилонская башня»

В своем стремлении познания законов развития человека, общества и природы человечество накопило множество научных результатов. Они заключаются в выявлении и классификации фактов; описании отдельных явлений, процессов, объектов и систем их классификации; формализации законов функционирования различных процессов, объектов и систем; использовании этих результатов для создания искусственной среды.

Под искусственной средой будем иметь в виду совокупность результатов всех видов деятельности людей: производственную сферу, сферу обслуживания, информационную, энергетическую, коммуникационную среды и т. д. Однако сложность как естественных (человек, общество, природа) так и искусственных систем, которые возникли в процессе развития науки, культуры, образования, техники и технологий, привела к тому, что человеческий интеллект не может во всей полноте охватить эти системы и процессы, проходящие в них. Чтобы глубже проникать в какую-либо конкретную область проблем, человек вынужден все больше абстрагироваться от целостности систем, строя модели для решения отдельных задач, рассматривая единую систему с различных точек зрения. Развитие каждой области науки шло своим путем. Его темп, история и результаты определяются сложностью объекта или системы исследования.

Каждая наука проходит, как известно, необходимые этапы: накопление фактов (знаний), их классификация, построение причинно-следственных связей, описание законов функционирования, строгая (математическая) формулировка законов, позволяющая предсказать результат по исходному состоянию.

Чем более узкая проблема (задача) исследования ставится, чем уже предметная область исследования, тем скорее проходится этот путь. В социально-гуманитарной области объекты исследования многообразны и сложны, а длительности процессов не позволяют провести наблюдения за время жизни наблюдателя. Поэтому результаты исследования различных проблем в разных областях этих наук находятся на очень разных уровнях представления знаний.

Разнообразие форм (языков) представления знаний в различных науках определяется и тем, что для описания явлений или процессов разной природы приходится выбирать те способы представления (описания) законов функционирования систем, которые позволяют наилучшим образом решать поставленную задачу. Социологи пользуются таблицами и графиками при исследовании, например, потребностей населения в чем-то, демографы пользуются диаграммами для выявления распределения каких-либо свойств среди населения, юристы излагают законы в словесных моделях, экономисты – в математических формулах и т. д.

Такое же положение в точных науках, где для описания различной природы процессов и объектов используются различные математические аппараты (теории): теоретико-множественные, алгебраические, дифференциальные, вероятностные, логические, реляционные и др.

Выбор типа формализованной модели зависит от типа поставленной задачи и свойств исследуемого объекта. То, что легко решить в одной модели, может оказаться сложно или даже неразрешимо в другой. Простейшим примером этого утверждения может служить модель числового ряда. Ее можно представить в форме римской или арабской (позиционной) системы счисления. Если числовой ряд используется в задаче упорядочения глав в книге, то вполне подойдет и римская модель, но в задаче о стоимости трех килограммов яблок уже никто не станет пользоваться римской системой, так как это отнимет очень много времени (на то, чтобы сначала научиться умножать в этой системе, а потом и подсчитать), в то время как позиционная модель позволяет решить задачу без труда.

Каждая модель адекватна только поставленной задаче. Таким образом, возникновение многообразия моделей при описании сложной системы и ее компонент является объективно необходимым условием процесса познания. Поэтому наши знания о нашем едином мире, его структуре и компонентах, процессах, в нем происходящих, напоминают древнюю притчу о трех слепцах, которых попросили объяснить, что такое слон. Процесс развития Науки напоминает строительство Вавилонской башни, где все строят одну огромную башню – познание единого мира «Жизнь Земли и окружающей ее среды», но перестают понимать друг друга, потому что говорят на разных языках.

На Глобальном Форуме '92 в Рио-де-Жанейро, где руководителями 156 государств обсуждались результаты реализации различных экологических программ, уже было отмечено, что никакие частные экономические, экономико-экологические, эколого-демографические и другие программы не дали ожидаемых результатов и необходимо рассматривать более общие целостные модели Жизни Земли и человеческих сообществ.

В процессе своего развития человечество познавало окружающий мир (естественную среду) и, накапливая информацию (знания), формировало вокруг себя искусственную среду. Информационная среда – накопитель знаний, культуры, общественного сознания – позволяла развиваться далее технологиям, порождавшим все более сложные производственные процессы. Для реализации новых технологий и обеспечения производственных процессов требовалась все более высокая культура: знания, навыки, умение, но и мораль, этика, законы, регулировавшие отношения между людьми. Неравномерность развития различных социумов привела к тому, что в различных регионах мира сложились сообщества с разным типом

культуры, технологий и т. д. Перенесение технологий из одного социума в другой может привести не просто к неудаче, но и к катастрофам, к негативным последствиям для других социумов или даже для всей планеты.

Интересен в этом смысле разговор, имевший место с представителем некоей восточной страны, взявшей одну из информационных технологий в Швеции. На вопрос: «Как работает купленная система?» – он ответил: «Никак!», а на вопрос: «Почему?», последовал ответ: «У нас нет шведов».

Это очень точное определение причины – нет носителей той культуры, для которой была разработана технология. Потребности людей, возможности обеспечить определенные технологии тесно связаны со всей совокупностью сложных общественных структур и процессов, определяющих уровень культуры и законы ее формирования. Обращает внимание тот факт, что крупные японские фирмы тратят до 15 % прибыли на повышение уровня общей культуры и профессионального образования своих работников, чем в большой степени и обеспечивают высокий темп и уровень развития технологий в Японии. Поэтому невозможно рассматривать экономику, технологию и природу в отрыве от человеческой культуры.

Модель любого социума (жители планеты, регионы, поселения, семья, любая человеческая общность на основе производства, соседства, политических и других интересов) должна рассматриваться как сложная единая система Человек–Культура–Технологии–Природа (ЧКТП). Для создания целостной единой модели ЧКТП-системы нет необходимости начинать с нуля. Вся история науки есть история накопления знаний о различных сторонах структур, процессов, свойств как общих для всех ЧКТП-систем, так и определяющих специфику этнических, политических, экономических, экологических, культурных и других условий конкретных социумов, сообществ, народов, регионов, государств.

Для создания единой модели ЧКТП-системы необходимо найти средства объединения уже существующих разнородных по языкам описания и уровню формализации частных моделей подсистем и компонент в единую систему и определить недостающие звенья в этой модели.

Особенно важно, чтобы оказались востребованными результаты, накопленные в социально-гуманитарных науках, которые изучали закономерности развития культуры, процессы возникновения и законы формирования потребностей человека как основы развития любой человеческой цивилизации. Однако результаты, выраженные словами, несут большую неоднозначность и неопределенность интерпретации, что отличает социально-гуманитарное знание от знания, сформированного точными науками, и порождает проблему разработки способов и средств объединения результатов (моделей) точных и гуманитарных наук.

## Структура гибких технологических систем

Чтобы каждая частная модель подсистемы, компоненты, проблемы или задачи могла найти четкое место в единой модели, нужно построить структуру целостной системы. Для этого определим свойства класса рассматриваемых систем. Характерными свойствами таких систем являются:

одновременное существование множества различных целей, ограничений и критериев функционирования;

наличие схем поведения (технологических процессов) для достижения каждой цели при заданных ограничениях и критериях функционирования;

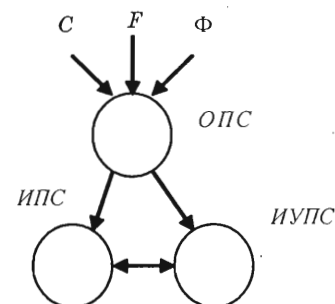
способность функционировать в условиях изменения целей, ограничений и критериев функционирования (изменять схему поведения).

Назовем такой класс систем гибкими технологическими системами (ГТС). Под гибкостью будем понимать способность системы подстраиваться под изменение целей, ограничений и критериев при сохранении жизнеспособности системы. Под технологическими процессами будем подразумевать способы и последовательность действий для достижения целей.

Любую многоцелевую систему можно представить как совокупность трех функциональных взаимосвязанных подсистем – организационной (ОПС), информационно-управляющей (ИУПС) и исполнительной (ИПС) (рис. 3).

Организационная подсистема – это совокупность средств и методов, определяющая выбор целей, ограничений и критериев функционирования (поведения) системы на основе сформированной цели существования (жизни) системы.

Понятие цели употребляется в двух различных смыслах. Первый – цель существования (жизни) системы, которая закладывается при ее возникновении (создании) и существует в течение всей жизни системы. Например, это поддержание жизни



■ Рис. 3. Функциональная структура многоцелевых систем:  
С – множество целей;  
F – множество критериев оценки достижения целей;  
Ф – множество ограничений на способы достижения целей

рода, вида и индивидуума в объектах живой природы; выпуск различных автомашин на автозаводе; формирование специалистов определенных профессий и квалификации в вузах; обслуживание самолетов, пассажиров и грузов в аэропорту.

Система существует, пока она поддерживает заданные цели существования, или жизни. При изменении всех целей существования будем считать ее умершей. Она может жить уже в другой ипостаси, например, как умерший человек в соответствии с одной из индийских религий.

Второе понятие – цель поведения, или функционирования системы. Она определяется на конечном интервале времени в зависимости от внутреннего состояния системы и ситуации в окружающей среде. При этом цель может быть обобщенной, удаленной, к которой система может стремиться в течение некоторого времени – асимптотическая цель или «идеал», и конкретная ( $C$ ), четко достижимая, выраженная в конкретных характеристиках (атрибутах) в терминах реляционной алгебры: какие объекты ( $d$ ) подлежат изменению, в каком количестве ( $\varepsilon$ ), каким способом ( $\theta$ ) и за какой период ( $\tau_{\text{нач}}$ ,  $\tau_{\text{кон}}$ ):

$$C = \langle d, \varepsilon, \theta, \tau_{\text{нач}}, \tau_{\text{кон}} \rangle.$$

Для достижения цели существования системы или поддержания поведения, обеспечивающего достижение этой цели, организационная подсистема должна определять стратегию поведения системы, ставить последовательные цели ее поведения с учетом изменения ситуаций в окружающей среде и внутреннем состоянии системы.

Таким образом, функцией оргсистемы является стратегическое обеспечение цели существования, выработка «идеала» на основе анализа состояния системы и внешней среды и определения цепочки целей поведения, ведущих систему к «идеалу». Кроме того, ОПС обеспечивает принятие решений в экстремальных ситуациях для поддержания или сохранения жизнеспособности системы. ОПС задает «правила игры» на некотором интервале времени для ИПС и ИУПС.

Традиционно в теории управления используют структуру из двух подсистем: объект управления и система управления. Это связано с тем, что данная теория рассматривала технические системы, если и сложные, то все-таки с определенным набором целей. В этом случае, цели существования и цели поведения совпадают и закладываются жестко в структуру исполнительной (объект управления) и информационно-управляющей (система управления) подсистем. Например, питьевой автомат. Цель существования – выдавать по запросу (монета) нужную порцию воды и сиропа. Цель заложена в конструкцию исполнительной и управляющей частей автомата.

Самонаводящиеся ракеты тоже относятся к этому классу. У такой системы изменение цели не является признаком принадлежности к классу

ГТС, так как под целью  $C$  здесь понимается достижение целевого объекта  $d$ , движущегося в пространстве, а поведение ракеты  $\theta$  – достижение координаты целевого объекта и, возможно, его уничтожение. Изменится не цель, а атрибут объекта.

Информационно-управляющая подсистема – совокупность средств и методов, обеспечивающих взаимодействие системы с внешней средой и компонентов системы между собой в процессе достижения цели поведения, заданной ОПС в соответствии с текущей ситуацией и критериями функционирования.

Информационно-управляющая подсистема обеспечивает наблюдаемость изменений состояний (событий) в любом компоненте системы, осуществляет контроль соответствия фактических состояний целевым (заданным ОПС) на основе результатов контроля, принимает решение о требуемых изменениях в правилах функционирования компонентов системы.

ИУПС обеспечивает функционирование ИПС для достижения целей, поставленных ОПС, в соответствии с правилами (ограничениями и критериями), установленными ОПС.

Исполнительная подсистема – совокупность всех исполнительных средств, способная обеспечить выполнение всех технологических процессов, необходимых для достижения целей поведения (функционирования) системы.

Наличие всех трех подсистем характерно для гибких систем, т. е. систем, способных функционировать в условиях изменения целей, ситуаций (ограничений) и критериев поведения.

Рассмотрим в качестве примера Университет. Цель его жизнедеятельности – готовить образованных специалистов в определенных областях знаний, культурных людей и законопослушных граждан государства. Цели функционирования Университета – сколько, каких специалистов, в какие сроки, при каких ограничениях выпускать и какими критериями оценивать результат деятельности.

Ректор и Совет Университета на основе цели жизнедеятельности, заложенной при учреждении Университета и социального заказа общества, определяют цели функционирования, т. е. являются организационной подсистемой.

Исполнительной подсистемой являются весь профессорско-преподавательский и учебно-вспомогательный состав, материально-хозяйственная и учебная часть. Информационно-управляющей подсистемой являются ректорат, деканаты, заведующие кафедрами, управленцы административно-хозяйственного и учебного аппарата, общественные, научные и прочие структуры, обеспечивающие взаимодействие всех участников процесса обучения в соответствии с поставленными ОПС целями жизнедеятельности Университета в процессе продвижения к заданному на данный период «идеалу» – поддержание работоспособности



ИПС в соответствии с заданными учебными планами и расписаниями.

Такая структуризация позволяет определить необходимые функции, общие в любых системах. При построении иерархических систем обычно роль ОПС выполняет ИУПС более высокого уровня, ибо именно она обычно задает «правила игры» (цели, ограничения, критерии) для ИУПС и ИПС нижнего уровня. Например, любой факультет Университета можно рассматривать как ГТС, для которой роль ОПС играет ректорат, информационно-управляющей системой является деканат, а исполнительной системой – кафедры факультета. Для кафедры функции ОПС выполняет деканат, ИУПС – заведующий кафедрой, ИПС являются весь преподавательский и учебно-вспомогательный состав кафедры.

Каким бы образом ни структурировать систему, каждая подсистема и компонента на любом уровне иерархии будут, в свою очередь, состоять из таких же трех функциональных подсистем до тех пор, пока вариативность (изменяемость) целей, ограничений и критериев остается их свойством.

### Для чего нужны модели?

Человеческий интеллект... Возможность ставить и достигать цели при изменяющихся обстоятельствах, способность выбирать из множества целей те, которые скорее ведут к желаемому состоянию, адаптация к изменениям в среде и внутреннем состоянии путем изменения среды или собственного состояния. Казалось бы, неограниченные возможности. И человек всегда ставил цели и принимал решения, как построить свое поведение или изменить среду и объекты, чтобы достичь желаемой цели. Но мир вокруг него усложнялся, естественная и искусственная среда становились все более многообразными, процессы и явления все более тесно связывались между собой, и принимать решения в новых условиях становилось все сложнее, а главное, опаснее. Если человек принимал решения в малой общности, в малом социуме, при простой технологии его неверные решения могли, в крайнем случае, уничтожить этот социум. Но когда человек принимает решение в мире, где все социумы тесно связаны единими источниками дефицитных ресурсов, а технологии таковы, что способны уничтожить весь мир, принимать решения требуется с большей осторожностью, не забывая о связности системы, о том, что изменение в одной части системы может вызвать последствия в других.

Человеческий интеллект, его уникальные способности обеспечиваются следующими функциями:

получение информации о внешней среде и внутреннем состоянии самого субъекта;

формирование модели внешней среды и внутреннего состояния субъекта на основе полученной информации;

целеполагание – формулирование «идеала» – глобальной цели жизнедеятельности (чаще неформальное и нечеткое), последовательности целей поведения, ведущей к глобальной цели системы, и критериев оценки ее достижения при сохранении жизнеспособности в соответствии с имеющейся моделью внешней среды и внутреннего состояния субъекта;

поиск решения – функция, обеспечивающая формулировку проблемы (задачи, что именно требуется разрешить), определение текущей ситуации в соответствии с построенной моделью, выбор методов разрешения конфликтных ситуаций из уже имеющихся и/или формулировка новых при возникновении новой конфликтной ситуации, накопление методов решения;

реакция на ситуацию – изменение внешней среды или внутреннего состояния для разрешения конфликтной ситуации на основе принятого решения, что требует наличия исполнительной системы;

накопление опыта – построение и запоминание системы связей между целью, ситуацией, решением, результатами и оценкой результата;

обучение – упорядочение опыта, выделение наиболее удачных сочетаний цель – ситуация – решение – реакция – оценка результата.

Эти функции в той или иной мере существуют у любой живой системы. Человеческий интеллект отличается возможностью выполнения всех перечисленных функций над абстрактными объектами (образами, моделями), сформировавшимися на основе накопленного опыта и обучения.

Целеполагание относится к функции ОПС, формирование модели, накопление опыта, обучение и поиск решения выполняются ИУПС, а получение информации и реакция на ситуацию – функция ИПС.

Все эти функции необходимы и тогда, когда решение принимает не один субъект, а коллектив или целый социум. Поэтому, когда возникла ситуация, для разрешения которой человеческого интеллекта стало недостаточно для сохранения жизнеспособности, человечество стало интенсивно искать способы усиления своего интеллекта, пытаясь создать коллективный интеллект. Все способы обмена информацией между людьми в процессе их жизнедеятельности были направлены на создание коллективного интеллекта, чтобы расширить возможность и ускорить выполнение всех перечисленных функций [1].

При появлении вычислительных машин стало казаться, что искусственный интеллект будет скоро создан, и были разработаны «универсальные решатели», «универсальные доказатели» теорем. Но затем пришло понимание, что создать систему, обладающую всеми перечисленными свойствами в рамках однородной модели (на основе одного математического аппарата или теории) невозможно. Все модели в области искусственного интеллекта были лишь усилителями отдельных функций ин-

теллекта человека, подобно микроскопу, телескопу, очкам, которые являются усилителями зрения, а не искусственным зрением.

Поэтому при решении сложных задач следует позаботиться об усилении тех интеллектуальных функций, которые необходимы в каждом конкретном случае. Чаще всего возникают проблемы построения модели рассматриваемой системы и окружающего мира, адекватной возникшей проблеме. Поэтому большинство исследовательских проблем связано именно с построением таких моделей. Но так как интеллект человека количественно ограничен и не может одновременно удерживать в активной памяти множество параллельно существующих и функционирующих компонент системы, человек всегда вычленяет в сложной системе или процессе ту его часть, которая в наибольшей степени (с его точки зрения) влияет на решение поставленной проблемы или разрешения конфликта. Такое вычленение редко возможно обосновать, так как в многосвязных многокомпонентных системах отдельные слабые связи могут, в конечном счете, вызывать в системе очень большие последствия.

Построение моделей сложных систем и процессов требует совместного участия исследователей, экспертов из разных наук и научных направлений для описания способов функционирования компонент системы, различных по своей природе, структуре и способам функционирования, а каждая наука имеет свой язык (аппарат, способы исследования и выражения результатов). Это порождает необходимость сопряжения разнородных моделей отдельных подсистем и процессов, в них протекающих, выраженных на разных языках, в единую модель.

Особенно важно создание целостных моделей для лиц, принимающих решение (ЛПР) в больших ЧКТП-системах: крупных фирмах, производственных объединениях, городах, регионах, государствах и других системах.

Для принятия какого-либо решения, обеспечивающего очередную цель поведения управляемой системы, ведущую к глобальной цели, ЛПР должно сформировать модель системы, ее возможные состояния, способы ее возможного и желаемого функционирования:

получить информацию о состоянии той среды, в которой «живет» система, и о ее собственном внутреннем состоянии на текущий момент относительно всех атрибутов, существенных для поставленной задачи;

построить статическую и динамическую модели среды и системы;

построить способы возможного функционирования, т. е. все множество допустимых состояний: ситуация – цель – решение – результат – оценка;

построить способ желаемого функционирования (обучить жить по лучшим законам), выбрать из множества способов желаемые;

сформировать способы выбора очередной цели поведения, ведущей к «идеалу» или обеспечивающей движение в его направлении на основе анализа состояний внешней среды или внутреннего состояния;

разработать способы принятия решений, разрешения конфликтов (определить новые способы, правила, законы функционирования компонент исполнительской системы и/или способы взаимодействия между ними);

реализовать принятое решение в действиях исполнительской системы, т. е. заставить компоненты исполнительской системы функционировать в соответствии с новыми правилами.

Таким образом, для поддержки принятия решения при управлении сложными системами необходимо иметь инструментальную систему усиления интеллектуальных способностей ЛПР. Такой инструментальной системой поддержки принятия решений может служить компьютерная имитационная модель, позволяющая ЛПР проверить свои решения и их последствия для всей системы в целом, определить причины и компоненты, не удовлетворяющие критериям достижения целей целостной системы без экспериментирования на людях и природе.

### Структура модели ЧКТП-системы

При рассмотрении любой системы, для которой требуется построить компьютерную имитационную модель, необходимо определить цели ее существования и цели поведения, обеспечивающие достижение цели существования. Возьмем для примера создание любой фирмы. Предположим, при ее создании была поставлена цель  $C_0$  – получение прибыли в размере  $\varepsilon_0$  с помощью техпроцесса  $\theta_0$  за период времени с  $\tau_{н0}$  по  $\tau_{к0}$ . Представим цель в реляционной форме:

$$C_0 = \langle d_0, \varepsilon_0, \theta_0, \tau_{н0}, \tau_{к0} \rangle,$$

где  $C_0$  – цель (получение прибыли);  $d_0$  – целевой объект (прибыль);  $\varepsilon_0$  – количество прибыли, которое хотим получить;  $\theta_0$  – способ получения прибыли;  $\tau_{н0}$  – начальный момент периода получения прибыли;  $\tau_{к0}$  – конечный момент периода получения прибыли.

В сформулированной цели не определен способ получения цели  $\theta_0$ . Следовательно, возникает следующая цель  $C_1$  – получить информацию о том, каким способом можно обеспечить требуемую прибыль. Для этого нужно провести маркетинг, на основании результата которого выберем  $\theta_0$  – способ получения прибыли.

Сформулируем следующую цель:

$$C_1 = \langle d_1, \varepsilon_1, \theta_1, \tau_{н1}, \tau_{к1} \rangle,$$

где  $C_1$  – цель (получение маркетинговой информации);  $d_1$  – целевой объект (маркетинговая информация);  $\varepsilon_1$  – количество маркетинговой информа-

ции, которую необходимо обработать;  $\theta_1$  – способ получения маркетинговой информации (маркетинг);  $\tau_{н1}, \tau_{к1}$  – периода обработки маркетинговой информации.

Для проведения маркетинга требуется специалист – маркетолог. Следующая цель  $C_2$  – найти маркетолога:

$$C_2 = \langle d_2, \varepsilon_2, \theta_2, \tau_{н2}, \tau_{к2} \rangle,$$

где  $C_2$  – цель (найти маркетолога);  $d_2$  – целевой объект (маркетолог);  $\varepsilon_2$  – количество маркетологов (хотя бы одного);  $\theta_2$  – способ поиска специалистов;  $\tau_{н2}$  – начальный момент периода;  $\tau_{к2}$  – конечный момент периода поиска специалистов.

Для найма маркетолога нужны финансы. И возникает цель  $C_3$ :

$$C_3 = \langle d_3, \varepsilon_3, \theta_3, \tau_{н3}, \tau_{к3} \rangle,$$

где  $C_3$  – цель (найти финансы);  $d_3$  – целевой объект (финансы);  $\varepsilon_3$  – количество финансов;  $\theta_3$  – способ поиска, получения финансов;  $\tau_{н3}$  – начальный момент периода;  $\tau_{к3}$  – конечный момент периода, отведенного на поиск.

Для поиска финансиста используем цель  $C_2$ , где определен  $\theta_2$  – способ поиска специалистов. Теперь в результате достижения всех поставленных целей будет известен способ  $\theta_4$ , которым можно получить прибыль, определенную в исходной цели  $C_0$ :

$$C_4 = \langle d_4, \varepsilon_4, \theta_4, \tau_{н4}, \tau_{к4} \rangle,$$

где  $C_4$  – цель (произвести тот продукт, который и принесет прибыль);  $d_4$  – целевой объект, который и будет выходным объектом (поток) проектируемой фирмы, за который фирма сможет получить прибыль (целевой объект может выражаться материальным, информационным, энергетическим и другими потоками);  $\varepsilon_4$  – величина (количество) целевого потока, необходимого для получения заданной прибыли;  $\theta_4$  – способ производства целевого потока;  $\tau_{н4}, \tau_{к4}$  – начальный и конечный моменты периода производства и сбыта продукта.

Для производства продукта необходимо иметь проект производственной системы, который определит структуру и состав исполнительных систем фирмы для реализации технологического процесса  $\theta_4$ , т. е. возникает цель  $C_5$ :

$$C_5 = \langle d_5, \varepsilon_5, \theta_5, \tau_{н5}, \tau_{к5} \rangle,$$

где  $C_5$  – цель (разработать проект производственной системы);  $d_5$  – целевой объект (проект производственной системы);  $\varepsilon_5$  – количество (хотя бы один проект);  $\theta_5$  – способ проектирования производственной системы;  $\tau_{н5}, \tau_{к5}$  – период проектирования.

Для реализации проекта необходимо достигнуть цели, обеспечивающие возможность функционирования производственной системы:

$$C_6 = \langle d_6, \varepsilon_6, \theta_6, \tau_{н6}, \tau_{к6} \rangle,$$

где  $C_6$  – цель (обеспечение места размещения производственной системы в пространстве и создание ее геоинформационной системы GIS);  $d_6$  – целевой объект (участок земли, здания, помещения и их карта, планы);  $\varepsilon_6$  – количество, необходимое для размещения производственной системы;  $\theta_6$  – способ поиска, покупки или аренды, заключения договоров, составление карт, планов;  $\tau_{н6} - \tau_{к6}$  – период обеспечения размещения производственной системы в пространстве и создание ее GIS;

Теперь имеем пространство для размещения исполнительных систем фирмы. Возникает следующая цель: обеспечить разрабатываемую фирму специалистами и исполнительными средствами в соответствии с проектом  $d_6$ . Для обеспечения специалистами уже определена цель  $C_2$ . Сформулируем следующую цель  $C_7$  – организовать функцию снабжения производственной системы всеми исполнительными средствами и расходуемыми ресурсами:

$$C_7 = \langle d_7, \varepsilon_7, \theta_7, \tau_{н7}, \tau_{к7} \rangle,$$

где  $C_7$  – цель (обеспечение производственной системы исполнительными средствами);  $d_7$  – целевой объект (требуемые исполнительные средства);  $\varepsilon_7$  – количество средств, необходимое для обеспечения функционирования производственной системы;  $\theta_7$  – способ поиска, заказа, покупки, доставки и установки исполнительных средств;  $\tau_{н7}, \tau_{к7}$  – период обеспечения производственной системы всеми исполнительными средствами.

Для безопасного функционирования системы в рамках законности необходимо юридическое обеспечение системы:

$$C_8 = \langle d_8, \varepsilon_8, \theta_8, \tau_{н8}, \tau_{к8} \rangle,$$

где  $C_8$  – цель (юридическое обеспечение производственной системы);  $d_8$  – целевой объект (юридическая информация);  $\varepsilon_8$  – количество необходимой юридической информации для функционирования производственной системы;  $\theta_8$  – способ поиска и получения юридической информации; на  $\tau_{н8}$  и  $\tau_{к8}$  – период обеспечения юридической информацией производственной системы.

Следующее условие функционирования системы – безопасность. Цель  $C_9$  – обеспечить безопасность как системы от внешнего мира (окружающей среды), так и внешнего мира от вредного влияния проектируемой производственной системы.

$$C_9 = \langle d_9, \varepsilon_9, \theta_9, \tau_{н9}, \tau_{к9} \rangle,$$

где  $C_9$  – цель (обеспечение безопасности производственной системы);  $d_9$  – целевой объект (степень необходимой безопасности);  $\varepsilon_9$  – количественная характеристика безопасности, необходимой для функционирования производственной системы;  $\theta_9$  – способ обеспечения безопасности по различным аспектам и параметрам;  $\tau_{н9}$  и  $\tau_{к9}$  – начальный и конечный моменты периода обеспечения безопасности.



При достижении всей последовательности перечисленных целей создаваемая система должна быть способна достигать цели ее жизнедеятельности, в данном случае, достигать прибыли в заданном количестве за заданный период времени. Но для этого нельзя забыть еще одну цель системы: сообщить миру о своем существовании и выпуске продукта:

$$C_{10} = \langle d_{10}, \varepsilon_{10}, \theta_{10}, \tau_{n10}, \tau_{k10} \rangle,$$

где  $C_{10}$  – цель (обеспечение рекламы фирмы и производимого ею продукта);  $d_{10}$  – целевой объект (рекламная информация);  $\varepsilon_{10}$  – количество необходимой рекламы;  $\theta_{10}$  – способ обеспечения рекламы по различным аспектам и параметрам продукта и системы;  $\tau_{k10} - \tau_{n10}$  – период обеспечения рекламой.

Так как в рассматриваемом примере не учитывались никакие специфические свойства системы, эту последовательность целей при создании любой системы можно принять за минимально необходимый инвариант набора целей на верхнем уровне описания модели ГДТС или ЧКТП-систем.

Отметим, что все десять целей были сформулированы как последовательность целей, ведущая к созданию фирмы. Это цели поведения создателей фирмы, в которую заложена цель жизнедеятельности  $C_0 = \langle d_0, \varepsilon_0, \theta_0, \tau_{n0}, \tau_{k0} \rangle$ . При функционировании созданной фирмы эта же последовательность целей будет обеспечивать поддержание цели жизнедеятельности фирмы  $C_0$  на протяжении всего жизненного цикла фирмы. Действительно, при функционировании любой фирмы необходимо вести постоянный маркетинг, заниматься подбором кадров, вести финансовые операции, выполнять основной технологический процесс выпуска целевой продукции, поддерживать аренду земли и недвижимости, обеспечивать снабжение, безопасность фирмы, юридические услуги, а также заниматься рекламой.

Любой структурный компонент системы, предназначенный для достижения своей цели, можно характеризовать множеством целей  $C$ , входными и целевыми потоками ( $d_0, d_n$ ) и правилами преобразования (техпроцессами  $\theta$ ) входных потоков в целевые. Следовательно, каждой цели должен быть поставлен в соответствие компонент в структуре системы. Инвариантное представление любой подсистемы или компоненты приведено на рис. 4.

Введение инвариантного представления любой подсистемы или компоненты позволяет построить инвариантное математическое описание всех ее характеристик. Следовательно, каждой из десяти целей инвариантного набора должен соответствовать свой структурный компонент в создаваемой модели любой системы. Так как компонент выполняет способ преобразования целевого потока, т. е. обеспечивает способность выполнения всех технологических процессов, необходимых для достижения целей поведения (функционирования), то этот набор из десяти компонент и составляет инвариант функциональной структуры исполни-

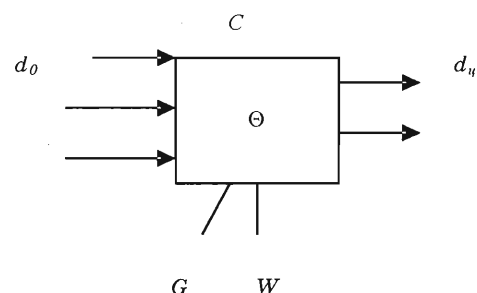
тельной подсистемы (ИПС) гибких дискретных технологических систем.

Этот инвариант функциональной структуры исполнительной подсистемы ГДТС и примем за структуру модели ИПС любой системы класса ГДТС.

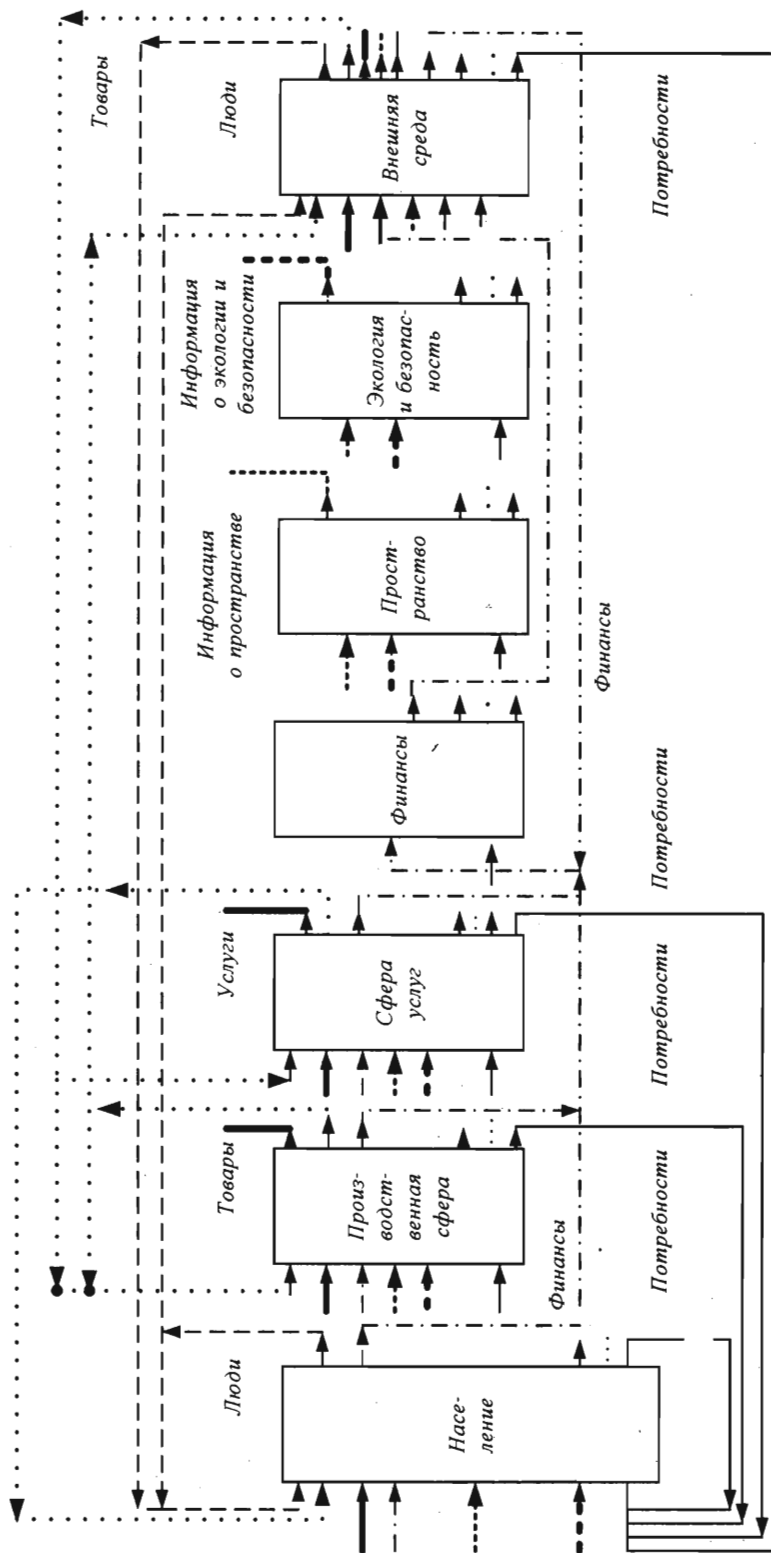
Однако так как эта модель предназначена для создания систем поддержки принятия решений или усиления интеллектуальных способностей ЛПР при принятии управленческих решений в сложных многоцелевых системах с разнородными компонентами, то приходится учитывать, что число одновременно активно воспринимаемых и обрабатываемых человеком объектов не должно превышать девяти. Поэтому, чтобы человеку было удобно воспринимать всю модель как единое целое, переструктурируем инвариантный набор компонент таким образом, чтобы инвариантная часть содержала на верхнем уровне иерархической структуры модели ИПС только семь компонент (рис. 5).

Так как при моделировании ГДТС необходимо учитывать влияние внешней среды на систему и системы на внешнюю среду, то модель внешней среды должна входить в моделирующую систему как равноправная компонента ИПС моделирующей системы. Включим блок «Внешняя среда» в структуру моделирующей системы на верхнем уровне иерархии. Выделим сначала те целевые компоненты, у которых потоки имеют специфические свойства, общие для широкого класса систем.

Начнем с цели  $C_2$  – поиск маркетолога, потом финансиста, потом специалистов, входящих в исполнительные средства производственной системы и системы управления. Этот компонент ИПС должен отражать информацию о человеке и процессах его жизнедеятельности в системе – и как биологического и социального объекта, и как спе-



■ Рис. 4. Инвариантное представление любой подсистемы или компоненты:  
 $C$  – множество целей компоненты;  $d_n$  – целевой поток, обрабатываемый компонентом;  $\Theta$  – техпроцесс или способ изменения свойств целевого потока от начального состояния  $d_0$  до целевого состояния  $d_n$ ;  
 $G, W$  – исполнительные и вспомогательные средства, необходимые для выполнения техпроцесса и достижения целей компоненты



■ Рис. 5. Структура Исполнительной подсистемы ГДС:

- люди;
- - - услуги;
- ... товары;
- · - информация о экологии и безопасности;
- финансы;
- потребности;
- ... информация о пространстве;
- - - информация о экологии и безопасности

циалиста, т. е. исполнительного средства в ИПС. В любой системе ЧКТП этот компонент всегда будет присутствовать и обладать общими функциями. Выделим его как блок «Люди» в структуре модели.

Везде будет присутствовать основная цель  $C_4$  обеспечения производственного процесса, выпускающего целевой поток системы, предназначенный для внешней среды. Этот компонент ИПС для различных систем будет иметь наибольшую специфику описания функционирования, так как связан с различными технологиями. Введем его в инвариант как «Производственная сфера».

В большей степени общими свойствами и функциями для всех систем обладает  $C_3$  – обработка финансовых потоков. Так как финансовый поток – это чисто информационный поток со специфической обработкой на основе общих для многих систем правил и законов, то его тоже целесообразно оставить на верхнем уровне иерархии ИПС. Назовем его «Финансы».

Обработка информационных потоков о территориальном, пространственном размещении системы, ее подсистем и компонент ( $C_6$ ) обладает большой общностью структур и функций для различных систем. Используем для этого структурного блока принятую аббревиатуру GIS – геоинформационная система.

Обеспечение безопасности производственной системы и внешней среды ( $C_9$ ) как блок, наиболее связанный с внешней средой, тоже имеет смысл оставить на верхнем уровне. Назовем этот блок «Безопасность». Под безопасностью понимаются способы наблюдения и устранения всех видов опасности жизнедеятельности как со стороны моделируемой системы находящимся в ней людям и внешней среде, так и со стороны внешней среды моделируемой системе, ее подсистемам и компонентам.

Введем на верхний уровень компонент «Сфера услуг» и объединим в него на следующем уровне оставшиеся целевые блоки, обеспечивающие услуги, требуемые для функционирования остальных подсистем: информационное обслуживание ( $C_8$  – юридические услуги,  $C_1$  – маркетинговые услуги и  $C_{10}$  – рекламные услуги),  $C_7$  – услуги материального снабжения,  $C_5$  – проектные разработки. На более низком уровне иерархии в эту же подсистему войдут услуги энергоснабжения, обеспечения здоровья, обучения, коммуникационные и другие услуги.

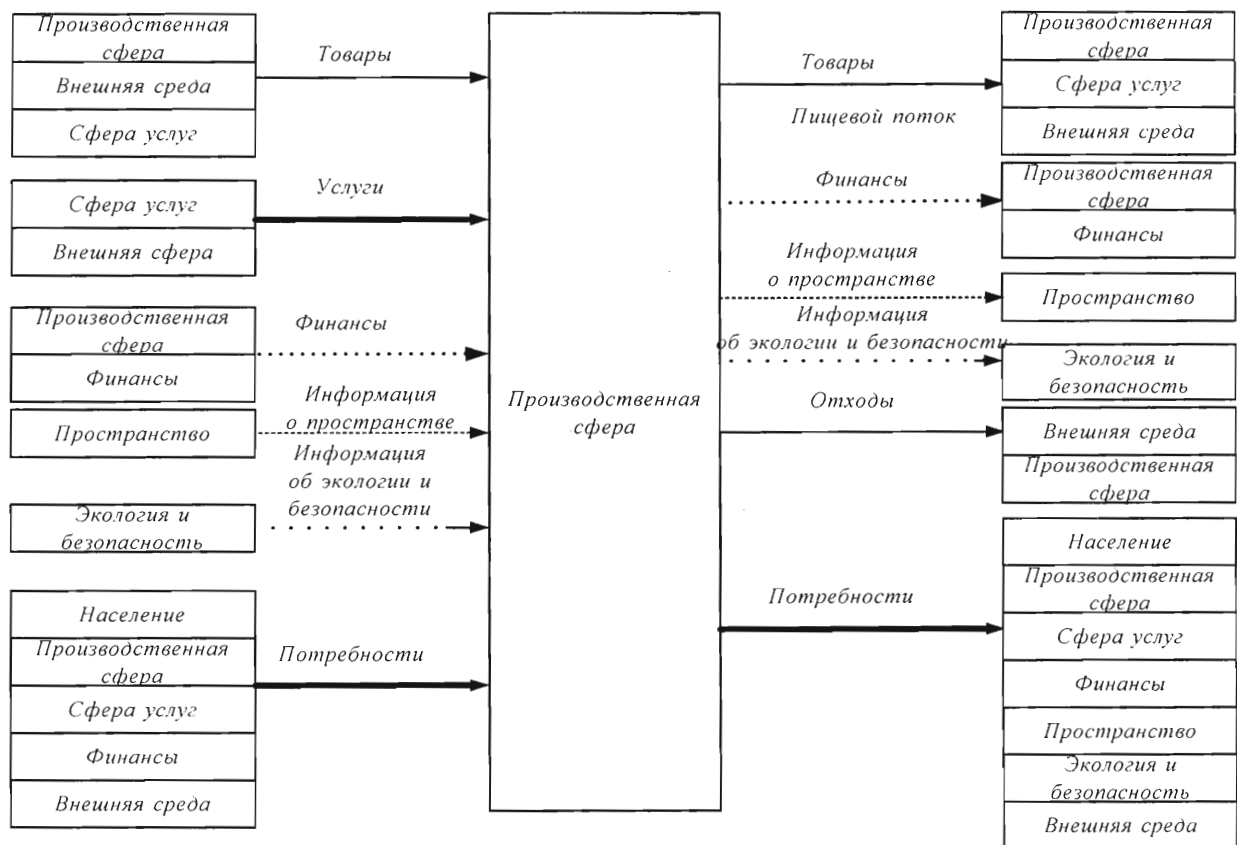
Получившаяся структура исполнительной подсистемы, состоящая из семи компонент, является инвариантом для всего класса ЧКТП-систем на верхнем уровне иерархической структуры модели ИПС (см. рис. 5). Так как эта структура описывает только самые общие свойства любых систем ЧКТП, то назовем эти компоненты подсистемами ИПС ЧКТП-систем. На следующем уровне иерархической структуры компоненты подсистем будут обладать большим разнообразием целей, целевых

потоков и технологических процессов. На верхнем уровне самым важным свойством модели является замкнутость системы по всем целевым потокам между всеми подсистемами моделируемой системы и внешней средой. Поэтому первой задачей при построении модели любой ГДТС должна быть проверка ее замкнутости по всем потокам, так как каждый входной поток в подсистему должен быть выходным из какой-то подсистемы или внешней среды, а каждый выходной должен служить входом какой-то подсистемы или внешней среды, т. е. ни один поток не может поступить «ниоткуда» и уходить «никуда».

Построение структуры потоков любой подсистемы начинается с определения ее основной цели и целевого потока. Для получения целевого потока подсистеме необходимо получить от других подсистем или внешней среды множество исходных ресурсов, информационных и энергетических потоков и услуг, из которых подсистема и выработает по ее техпроцессу основной выходной поток. Эту информацию и выдает каждая подсистема в виде потока потребностей, адресованных другим подсистемам. В свою очередь, подсистема получит от других подсистем и требуемые потоки на свой вход и потребности других блоков, в ответ на которые она выдаст дополнительные выходные потоки.

На рис. 6 показана структура потоков одной из подсистем «Производственная сфера»: потоки, которые необходимы на ее входе для выработки целевых потоков, и их источники (слева), целевые потоки на выходе подсистемы «Производственная сфера» и их подсистемы-приемники (справа). Имея такое описание любой подсистемы, легко осуществить проверку замкнутости потоков в системе. Каждая подсистема должна описываться независимо, так как для описания разных подсистем требуются эксперты из разных отраслей знания, и проверка на замкнутость позволяет установить, все ли эксперты правильно (одинаково) представляют себе взаимодействие своей подсистемы с другими подсистемами и внешней средой.

Полная замкнутость модели ИПС делает наглядным ее свойство самоуправления. Каждая подсистема для обеспечения функционирования в процессе достижения своей цели вырабатывает информационный поток о потребностях, адресуя свои потребности соответствующим подсистемам. Так как каждая подсистема тоже состоит из трех подсистем (ОПС, ИУПС, ИПС) и, следовательно, имеет свою организационную подсистему, которая воспринимает потребности других подсистем как поток целей на своем входе и изменяет, соответственно, правила функционирования своей ИУПС для формирования потоков, удовлетворяющих эти системные потребности. Если правила функционирования заложены во все подсистемы правильно относительно внешней ситуации и набора целей, то при малых отклонениях внешней ситуации и набора целей,



■ Рис. 6. Структура потоков подсистемы «Производственная сфера»

система может устойчиво работать без внешнего управления. (При краткосрочном отсутствии руководства фирма работает за счет самоуправления, поддерживая целевые потоки путем обмена потоками потребностей).

Для инвариантного описания всех подсистем различными специалистами разработаны математические основы общей теории гибких дискретных технологических систем (ГДТС) на основе реляционной алгебры (алгебры отношений или просто таблиц), так как табличное представление любых зависимостей наиболее универсально для представителей всех наук. Математические основы общей теории содержат описание статической и динамической реляционной модели компонент, метод декомпозиции компонент в зависимости от решаемой задачи, функций связи в иерархической структуре подсистем (вертикальных связей), функции связей между подсистемами в инвариантной структуре ГДТС (горизонтальные связи). Математические основы общей теории могут служить хорошей базой создания программных инструментальных средств для построения имитационных моделей сложных систем типа ЧКТП как единой системы, все компоненты которой строятся на единых принципах.

## Литература

1. Лотман Ю. М. Семисферы. Культура и информация. – СПб.: «Искусство-СПб», 2001. – 704 с.
2. Перовская Е. И. Основные принципы построения моделей сложных гибких дискретных технологических систем // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды VIII международн. научно-практич. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. – С. 126–130.
3. Перовская Е. И. Создание глобальных моделей социумов для проверки управленческих решений и их последствий // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды VII международн. научно-практич. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003. – С. 186–190.
4. Perovskaya E. I. Support of acceptance of the administrative decisions in systems Humanity–Culture–Technology–Nature / Instrumentation in ecology and human safety 2002. – St. Petersburg, 2002. – С. 194–196.
5. Перовская Е. И., Фетисов В. Автоматизация гибких дискретных систем. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. – 183 с.
6. Перовская Е. И. Имитационные модели для поддержки принятия решений в системах Человек–Культура–Технологии–Природа // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды V международн. научно-практич. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 177–181.