СИСТЕМНЫМ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК: 001.51; 005
DOI 10.18413/2411 -3808-2019-46-4-717-730

СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД КАК ОСНОВА ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

SYSTEM-OBJECT APPROACH AS THE BASIS OF THE GENERAL SYSTEM

С.И. Маторин[1], А.Г. Жихарев[2]
S.I. Matorin[1], A.G. Zhikharev[2]

ЗАО «СофтКоннект», Россия, 308023, г. Белгород, ул. Студенческая, 19, кор. 1
[2)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
CJSC «SoftConnect», 19 cor.1 Student St., Belgorod, 308023, Russia
[2)] Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: matorin@softconnect.ru

Аннотация
В статье приводится описание существующих проблем традиционного системного подхода, затрудняющих создание общей (абстрактной) теории систем. Рассматриваются современные требования к структуре научной теории и ее функциям. Показаны несоответствия этим требованиям существующих системных теорий. Обосновывается возможность разработки системной теории на основе системно-объектного подхода. Описаны структурные элементы и основные положения такой теории, а также ее функциональные возможности. Кроме того, представлены способы математического описания системы как триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» с помощью алгебраических аппаратов теории паттернов Гренандера, исчисления процессов Милнера и исчисления объектов Абади-Кардели.

Abstract
The article describes the existing problems of the traditional systems approach that make it difficult to create a general (abstract) theory of systems. The modern requirements to the structure of scientific theory (the foundations of the theory, idealized object, the logic of theory, the totality of laws and statements) and its functions (synthetic function, explanatory function, methodological function, predictive function and practical function) are considered. Inconsistencies with these requirements of existing system theories are shown. The possibility of developing a system theory based on a system-object approach is substantiated. The structural elements and basic principles of such a theory, as well as its functional capabilities, are described. In addition, methods of mathematical description of the system as a triune construction of the “Unit-Function-Object” are presented using algebraic apparatus of the patterns theory of Grenander, calculus processes of Milner and objects calculus of Abadi-Cardeli. The advantages of using the algebraic apparatus of calculus of objects to formalize the system-object approach are given.

Ключевые слова: проблемы традиционного системного подхода, системно-объектный подход, элемент «Узел-Функция-Объект», общая теория систем, структурные элементы теории, теория паттернов, исчисление процессов, исчисление объектов.
Keywords: problems of the traditional system approach, system-object approach, the “Node-Function-Object” element, general systems theory, structural elements of the theory, pattern theory, calculus of processes, calculus of objects.

Введение

Со второй половины прошлого века в обиход ученых, проектировщиков и аналитиков прочно вошли такие понятия как «системный подход», «теория систем» и «системный анализ», ядром которых является понятие «система». Интенсивно проводимые первое время системные исследования сменились этапом осмысления полученных результатов. Основной причиной этого стали отличия в понимании самого явления системности разными исследователями вплоть до утверждения об отсутствии у понятия система онтологического статуса. Отсутствие четкого и однозначного понимания того, что такое система (т. е. конструктивного системного подхода) и привело к торможению системных исследований, которые в настоящее время свелись к переписыванию полученных в прошлом результатов, а создание действующей (а не описательной) теории систем отложено на неопределенное время [Мельник, 2013].

Данная ситуация обусловлена сложностью создания системной теории, содержательно включающей в себя всю совокупность общесистемных принципов и закономерностей, и сложностью формализации подобной теории. Среди прочих недостатков существующих теоретических построений следует отметить также, что в них не учитываются различные пути проявления системности. Как правило, имеются в виду только конкретные объекты, явления. Однако еще в работах основоположников системных исследований обоснована необходимость учета в рамках теории систем не только конкретных материальных объектов, но и концептуальных систем, т. е. классов.

Рассмотрим подробнее проблемы, затрудняющие формирование системной теории.

1. Проблемы традиционного подхода к созданию теории систем

Основной проблемой традиционного системного (системно-структурного) подхода, обуславливающей все остальные его проблемы и, в том числе, проблемы создания теории систем, является неосуществленный до сих пор окончательный отрыв системного подхода от теоретико-множественного.

Сравнительный анализ системного и теоретико-множественного подходов однозначно свидетельствует о том, что эти подходы принципиально противоположны и ни один из них не сводим к другому, что обусловлено, в частности, тем, что в концепции множества изначально заложена первичность элемента (части) по отношению к множеству (целому), а в системной же концепции первичным является понятие системы (целого), которая уже потом может быть (а может и не быть) представлена в виде совокупности взаимодействующих частей [Шрейдер, 1982].

Второй проблемой традиционного системного (системно-структурного) подхода является формализация его понятий без учета их специфического содержания.

По поводу роли формального аппарата и математических методов в системных исследованиях отмечается, например, в [Никаноров, 1969; Гиг, 1981], что основное содержание системного анализа и теории систем заключено не в формальном математическом аппарате, описывающем «системы» и «решение проблем» и не в специальных математических методах, а в его концептуальном, т. е. понятийном аппарате, в его идеях, подходе и установках. При этом в работе [Гиг, 1981] подчёркивается, что «реальные системы не полностью поддаются описанию с помощью математических моделей» и что аналитические (т. е. формальные) методы непригодны для изучения живых и, следовательно, социальных (организационных) систем. Кроме того, «использование математики переносит акцент с содержания на структуру явления» [Гиг, 1981]. При этом теоретические системные построения, основанные на результатах физико-математических наук, автор упомянутой работы называет *теориями жёстких систем,* «применение которых к экономическим и организационным системам позволяет создать количественные модели чрезвычайно бедные, однако, по своему содержанию» [Гиг, 1981]. Более того, там же подчёркивается, что «если теория связана только с понятиями структуры и цели и не связана

с понятиями субстанции и содержания, то бесполезно ожидать появления конкретных полезных приложений такой системной теории» [Гиг, 1981].

Кроме того, объекты, исследуемые средствами системного подхода и системного анализа, как правило, являются не строго и не точно определенными. Это позволяет оставаться актуальным известному предупреждению Н. Винера о том, что применение точных формул к вольно определяемым понятиям есть не что иное, как обман и пустая трата времени [Винер, 1960], а также резкому суждению А. Эйнштейна о том, что математика может доказать что угодно и использоваться как отличнейшее средство водить за нос даже самого себя, а главное состоит в содержании, а не в математике [Г ернек, 1966].

Третьей проблемой традиционного системного (системно-структурного) подхода и основанных на нем системного анализа и теории систем является неразвитость средств *анализа* и *синтеза* объектов как систем. Основной причиной существования данной проблемы является то, что само понятие «система» до сих пор остается дискуссионным.

Любая же научная теория, особенно обслуживаемая формальной системой, для выполнения своих многообразных функций (информативной, систематизирующей, прогностической, объяснительной) должна обладать средствами, позволяющими осуществлять процедуры анализа и синтеза описываемых данной теорией объектов. Совершенно очевидно, что теоретико-множественный подход в лице теории множеств (с четко определенным понятием «множество») такими средствами обладает, что и подвигает, так сказать «пользователей», на применение этой теории для решения конкретных задач, в частности задач системного анализа и теории систем.

В рамках же традиционных вариантов системного подхода (их анализ, например, в работе [Агошкова, 1998]) используется более 40 определений; например, уже в работе [Уемов, 1978] собрано 35. При этом эти определения не обуславливают (не задают) конкретной возможности для проведения операций анализа или синтеза объектов как систем, т. е. с учетом специфических системных отношений. Данные операции либо вообще остаются без определения, либо определяются с помощью теоретико-множественных средств с потерей возможности целостного представления системы. Системные же представления, построенные при игнорировании признака целостности, оказываются неэффективными или даже дают заведомо ошибочные результаты [Агошкова, 1998].

Например, в одном из самых первых вариантов системного подхода система определялась как средство решения проблем, но конструктивных подходов к анализу и синтезу таких средств не предлагалось [Оптнер, 1969]. В более поздних вариантах система рассматривается как упорядоченное определенным образом множество взаимосвязанных между собой компонент той или иной природы, характеризующееся единством (целостностью), которое выражается в интегральных свойствах и функциях множества [Садовский, 1974]. При этом заданная возможность теоретико-множественного анализа и синтеза таких систем (как множеств) исключает конструктивное определение специфической целостности системы и причины появления её интегральных, т. е. собственно системных свойств.

Совершенно очевидно, что в названных концепциях способы анализа и синтеза систем с учетом их специфических системных отношений не заданы, не определены. Такая же ситуация существует и в рамках формализованных системных построений. Практически все формальные определения системы или непосредственно, или после своего раскрытия имеют теоретико-множественный характер, в рамках которого либо затруднено проведение анализа и синтеза систем, либо фактически не учитывается целостность этих систем. Довольно большая коллекция таких определений представлена, например, в работах [Волкова, 2006; Волкова, 2015].

Четвертой проблемой традиционного системного (системно-структурного) подхода и анализа является то, что ни один вариант такого системного подхода и ни один основанный на нем метод системного анализа, а также ни одна системная теория не используют понятия класса при осуществлении своих процедур и построении моделей.

Т. е. в существующих теоретических построениях по поводу системного подхода не учитываются различные пути проявления системности. Говоря о системах, как правило, имеют в виду только конкретные объекты, явления. При этом еще в работах [Акофф, 1964; Шрейдер, 1982] была обоснована необходимость учета в рамках системного подхода и теории систем не только конкретных объектов, но и концептуальных систем, т. е. классов. В зависимости от пути проявления целостности, как основного признака системности, имеет смысл рассматривать два вида систем: *внутренние* и *внешние*.

Внутренняя система (наш термин: *система-явление)* - это целостное образование (конкретный объект), к которому можно применить процедуры членения, представляя эту систему в виде некоторой структуры составляющих частей. Внешняя система (наш термин: *система-класс)* - это класс объектов общей природы, объединенных некоторой целостной сущностью. Элементы такой системы «могут не обладать ни пространственной, ни временной общностью, ни даже генетической связью^ Важна лишь общность природы образующих систему объектов» [Шрейдер, 1982].

Традиционный же системный подход в принципе не использует концептуальных классификационных моделей, применение которых обязательно при осуществлении объектно-ориентированного анализа при разработке ИС [Буч, 2010]. Поэтому при использовании традиционных системных методов для проведения объектно-ориентированного проектирования ИС все равно приходится выходить за их рамки и использовать дополнительные средства [Йордан, 1999].

Следовательно, основными проблемами традиционного системного подхода и основанных на нем методов системного анализа и теории систем, а также их несоответствия объектной парадигме разработки ИС является теоретико-множественный и вообще чисто формальный подход к понятию системы, а также неопределенность процедур анализа и синтеза объектов как систем и отсутствие в арсенале системного подхода и анализа инструментальных средств классификационного моделирования.

2. Современный подход к созданию научной теории

Полноценная научная теория, по мнению специалистов науковедения, которые в большинстве своем ссылаются на К. Поппера, должна содержать структурные элементы:

- *Основания теории* - (фундаментальные понятия, принципы, законы, уравнения, аксиомы и т. д.).
- *Идеализированный объект* - (абстрактная модель существенных признаков (свойств и связей) изучаемых объектов действительности).
- *Логика теории* - (совокупность правил и способов доказательства, нацеленных на прояснение структуры знания, на описание его формальных связей и элементов и направленных на исследование и развитие знаний).
- *Совокупность законов и утверждений* - (следствия, выведенные из основных положений теории).

Кроме того, научная теория имеет и должна быть в состоянии выполнять функции:

- *Синтетическая функция* - (объединение отдельных достоверных знаний в единую, целостную систему).
- *Объяснительная функция* - (выявление причинных и иных зависимостей, многообразия связей данного явления, его существенных характеристик, законов его происхождения и развития, и т. п.).
- *Методологическая функция* - (на базе теории формулируются многообразные методы, способы и приемы исследовательской деятельности).
- *Предсказательная функция, функция предвидения* - (на основании теоретических представлений о «наличном» состоянии известных явлений делаются выводы о существовании неизвестных ранее фактов, объектов или их свойств, связей между явлениями и т. д.).

- *Практическая функция* - (конечное предназначение любой теории - быть воплощенной в практику, быть «руководством к действию» по изменению реальной действительности).

Сложившееся же на сегодняшний день положение с теорией систем таково, что разработчики системных теорий, как правило, продолжают использовать теоретико-множественное определение понятия «система», которое (данное понятие) ничего общего с теорией множеств, как было показано выше, не имеет. Применяемая, следовательно, при разработке системных теорий системная концепция, фактически не учитывающая все принципы системного подхода, не позволяет до конца сформировать сами основания теории систем, хотя определенный набор системных понятий, принципов и закономерностей определенно существует.

Этот же теоретико-множественный подход не позволяет сформировать идеализированный объект теории систем как абстрактную модель существенных признаков изучаемого объекта, т. е. именно системы, так как представление системы в виде множества лишает систему ее основного специфического свойства - целостности.

Искажение основ теории и идеализированного объекта теории нарушают логику теории и не позволяют сформировать совокупность следствий из основных исходных положений, которые еще и сами плохо определены.

Нарушения в структуре системной теории не позволяют ей полноценно выполнять требуемые функции. Немногочисленные объяснительные и методологические возможности, а также практическая функция (системный анализ) по сути дела являются возможностями системного подхода, представляющего собой методологическую часть системных исследований вообще.

При этом не теоретико-множественная концепция системы, использующаяся в рамках системно-объектного подхода, учитывает все общесистемные принципы и закономерности и позволяет, таким образом, предложить содержательные и формальные основы действительно системной теории. Рассмотрим это подробнее, уточняя результаты исследований, представленных в работах [Маторин, 2016; Маторин, 2017; Маторин, 2018].

3. Основные положения теории систем, использующей системно объектный подход

В *основании теории систем,* использующей системно-объектный подход, лежит понимание системы как функционального объекта, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса [Мельников, 1978] и совокупность основных понятий этого подхода (связь как поток элементов глубинного яруса связанных систем, система-явление, система-класс, внешняя детерминанта (функциональный запрос надсистемы), внутренняя детерминанта, отношение поддержания функциональной способности целого и т. д. [Маторин, 2014]), а также набор известных общесистемных принципов и закономерностей.

Идеализированным объектом теории систем, основанной на системно-объектном подходе, как абстрактной моделью существенных признаков изучаемого объекта (т. е. системы) выступает элемент «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), моделирующий структурные, функциональные и субстанциальные свойства системы [Маторин, 2016]. Формально система как УФО-элемент отдельными аспектами или консолидированно может быть представлена алгебраическими средствами теории паттернов Гренандера, средствами исчисления процессов Милнера или средствами исчисления объектов Абади-Карделли, что будет показано в дальнейшем.

К элементам *логики теории* в настоящее время можно отнести правила системной композиции, классификацию потоков связей, на основании которой предложена классификация систем как УФО-элементов [Маторин, 2018а] и алгебраические операции с такими элементами по аналогии с операциями упомянутых выше исчислений [Маторин, 2018б; Маторин, 2018в]. Упомянутые здесь правила и классификация представлены ниже.

К *совокупности законов и утверждений* на сегодняшний день относится обоснование взаимосвязей общесистемных закономерностей и доказательство расширенного понимания принципа моноцентризма Богданова [Маторин, 2017а]. Кроме того, обоснование системного понимания картины мира, общественной и личной жизни [Маторин, 2014], а также обоснование классификации системных элементов (введение алфавита) [Маторин, 2018г].

Представленные выше структурные элементы теории систем, основанной на системно-объектном подходе, необходимо дополнить следующими концептуальными положениями данной теории [Маторин, 2017а; Маторин, 2018в].

Во-первых, система рассматривается как *функциональный объект или класс, функция или роль которого обусловлена функцией или ролью объекта или класса более высокого яруса* (т. е. надсистемы). При этом рассматривается два различных вида систем: *внутренние системы* (системы-явления) и *внешние системы* (системы-классы).

Во-вторых, любая система обязательно связана с другими системами и эти связи представляют собой *потоки элементов глубинного яруса связанных систем.* При этом связи данной системы с другими системами - *функциональные,* связи между подсистемами данной системы - *поддерживающие.*

В-третьих, упомянутое в определении системы явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (*внешняя детерминанта* системы).

В-четвертых, внешняя детерминанта системы есть причина ее возникновения, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, она (внешняя детерминанта системы) рассматривается в качестве *универсального системообразующего фактора.*

В-пятых, функционирование системы под влиянием внешней детерминанты является ее *внутренней детерминантой,* так как непосредственно определяет ее внутренние свойства (свойства подсистем).

В-шестых, функционирование системы в соответствии с внешней детерминантой устанавливает между системой и надсистемой *отношение поддержания функциональной способности более целого.*

В-седьмых, процесс приближения внутренней детерминанты системы к ее внешней детерминанте представляет собой *адаптацию* системы к запросу надсистемы. При этом отношение внешней и внутренней детерминант системы соответствует отношению области требуемых функциональных состояний (**ОТФС**) системы в соответствии с запросом надсистемы к области возможных функциональных состояний (**ОВС**) исходного материала для требуемой системы. Это отношение понимается как *мера системности (Ms).* Максимально адаптированной считается система, у которой *Ms* близка к 1. При формировании системы с требуемой функцией в узле надсистемы по запросу последней выбирается исходный материал для нужной системы, для которого, естественно, справедливы неравенства: **ОВС** > **ОТФС** и **0** > *Ms* < **1**. В действительности не существует систем с *Ms* = 0 или *Ms* = 1. Адаптация системы к изменяющемуся запросу надсистемы представляет собой *эволюцию* системы.

В-восьмых, следствием упомянутого выше определения системы и понимания связи между системами является представление системы в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), где:

- **узел** - структурный элемент надсистемы в виде перекрестка связей данной системы с другими системами;
- **функция** - динамический (функциональный) элемент надсистемы, выполняющий определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования связей данного узла;

- **объект** - субстанциальный элемент надсистемы, реализующий данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающего конструктивными, эксплуатационными и т. д. характеристиками.

В-девятых, для агрегации системы из составных частей, представляемых в виде УФО-элементов, или для декомпозиции системы на такие составные части определены правила комбинирования УФО-элементами, именуемые *правилами системной композиции:*

1. *присоединения:* элементы должны присоединяться друг к другу в соответствии с качественными характеристиками присущих им связей (потоков);
2. *баланса:,* при присоединении элементов друг к другу (в соответствии с первым правилом) должен обеспечиваться баланс «притока» и «оттока» по входящим и выходящим функциональным связям (потокам);
3. *реализации,* при присоединении элементов друг к другу (в соответствии с первым и вторым правилами) должно быть обеспечено соответствие интерфейсов и количественных объектных характеристик функциональным характеристикам;
4. *замкнутости,* поток, не связанный так или иначе с «проточными» потоками от входа к выходу, замкнут, т. е. образует цикл (обратную связь).

В-десятых, в рамках системно-объектного подхода рассматриваются не абстрактные связи **L**, т. е. любые потоки вообще, а связи/потоки, имеющие определенное содержание. Это обусловлено введением в концепцию рассматриваемой системной теории *классификации связей.* В данной классификации абстрактный класс *«Связь* (**L**)» делится на непересекающиеся подклассы *«Материальная связь* (**M**)» и *«Информационная связь* (**I**)»; класс материальных связей делится на непересекающиеся подклассы *«Вещественная связь* (**V**)» и *«Энергетическая связь* (**E**)»; класс информационных связей - на непересекающиеся подклассы *«Связь по данным* (**D**)» и *«Управляющая связь* (**C**)». Данная классификация связей/потоков дополняется более конкретными потоками при описании систем определенной предметной области и является основой создания объектов (УФО-элементов) различных типов. Кроме того, предложенная классификация представляет собой механизм, обеспечивающий специализацию системных понятий и приложение этих понятий к конкретным предметным областям.

Использование классификации связей позволяет классифицировать УФО-элементы по их узлам, как это представлено на рисунке 1.

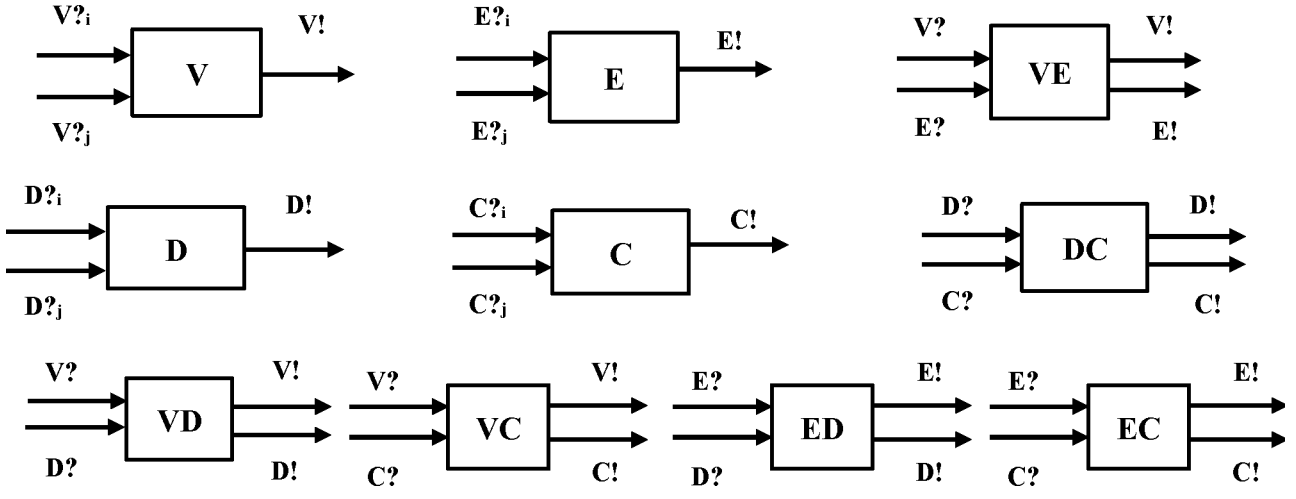

Рис. 1. Алфавитные материальные, информационные и смешанные элементы

Fig. 1. Alphabetical material, information and mixed elements

Данные положения конкретизируют, в частности, представление системы как средства решения проблем [Оптнер, 1969]. Дело в том, что определение узла, в котором

должна находится система, есть ни что иное, как конкретизация проблемы, которую должна решать система. Определение же ее функциональности есть, по сути дела, определение средства решения проблемы, характеризующейся узлом.

Кроме того, данные положения полностью соответствуют системному подходу, предложенному в работе [Гиг, 1981], уточняя и конкретизируя его. Системный подход представляется в данной работе как такой «принцип исследования, при котором рассматривается система в целом, а не ее отдельные подсистемы. Его задачей является оптимизация системы в целом, а не улучшение эффективности отдельных подсистем» Одним из основных положений такого подхода «является отказ от изучения задач системы без рассмотрения ее взаимосвязей с более широкой системой, в которую она входит» [Гиг, 1981, с. 28, 48].

Представленный концептуальный аппарат имеет также ряд общих понятий с *теорией живых систем* Миллера [Miller, 1975]. По крайней мере, он обладает такими же чертами, какие отмечены автором работы [Гиг, 1981] по отношению к этой теории. При этом данная теория рассматривается как одна из немногих действительно системных теорий.

4. Формальное описание системы как элемента «Узел-Функция-Объект»

Для системно-объектного подхода (УФО-подхода) предложено несколько способов его формализации. Рассмотрим суть и возможности этих способов.

1. Понятия *теории паттернов* Гренандера (РТ), в основе которой лежит графический формализм - *образующая* **g**, с помощью которого можно создавать более сложные конструкции - *конфигурации* **c** и *изображения* **I**, в определенной степени соответствуют понятиям системно-объектного УФО-подхода. При этом изображение **I** как совокупность незамкнутых связей некоторой конфигурации **ext(c)** хорошо моделирует узловую характеристику системы. Конфигурация **c**, как конструкция, перемыкающая незамкнутые связи изображения **I**, моделирует структурно-функциональную характеристику системы. Образующая **g** как объект, обладающий некоторыми признаками a, со связями (в свою очередь характеризующимися некоторыми показателями P) - объектную (субстанциальную) характеристику данной системы.

Представление системы как УФО-элемента в виде кортежа **s = <u,** *F, O*> хорошо согласуется с упомянутым выше понятием образующей. Это обусловлено тем, что основными характеристиками узла **u** и функции *F* являются входные и выходные связи *L*. Таким образом, можно данный кортеж представить в виде **s = <(L)L, L(L),** *O*>, где **(L)L** - конкретный **узел** в структуре надсистемы (**(L)** - множество входных связей, **L** - множество выходных связей); **L(L)** - класс **функций**, балансирующих данный узел (**(L)** - множество аргументов, *L* - множество функций); *O* - класс субстанциальных характеристик. В нашем случае, можно рассматривать классы *O* и **L(L)** как признаки образующей, а **(L)** и **L** как связи, показатели которых есть типы **L** (см. базовую классификацию связей). Таким образом, образующая **gi** как УФО-элемент имеет вид: **gi = <(L*i)L*2, L*2(L*i),** *O*>.

Данный вариант формализации понятия «система» как трехэлементной конструкции «Узел-Функция-Объект» позволяет обеспечивать агрегацию (синтез) и декомпозицию (анализ) систем формализованными средствами (см., например, работы [Маторин, 2002; Маторин, 2006]). Однако полноценно можно учесть только структурные свойства систем, используя *алгебру изображений*, входящую в теорию паттернов, которая позволяет соединять и разъединять изображения (как и образующие) на основании показателя взаимного соответствия связей p. Если же необходим учет функциональных свойств системы, то необходимо переходить к конфигурации образующих, раскрывающей внутреннюю структуру изображения. При этом может быть выявлена только структура функций/процессов. Учет же субстанциальных свойств системы сводится к рассмотрению самих образующих. При этом образующая представляет собой просто часть конфигурации. Таким образом, целостного описания системы, учитывающего одновременно все

характеристики (и функциональные, и субстанциальные, в том числе) с помощью теории паттернов не происходит. Так как на любом уровне, по сути дела, мы оперируем все равно только структурными характеристиками системы и одним и тем же абстрактным понятием образующей, которая раскрывается через образующие же.

2. С целью использования для формализации системно-объектного УФО-подхода *исчисления процессов* Милнера (CCS) система Si как УФО-элемент представляется в виде следующего выражения: si = <(L?i, L!i), (Pi, P^{0}i, Lxi), (ni, ai, P?i, pii)>, где

- (L?i, L!i) - «Узел: Us» УФО-элемента, L?i е L - множество входных связей, L!i е L - множество выходных связей;

- (Pi, P^{0}i, Lxi) - «Функция: Fs» УФО-элемента, где Pi - множество подпроцессов процесса, соответствующего «Функции», которые реализуются УФО-элементами нижнего яруса иерархии; P^{0}i е Pi - множество интерфейсных подпроцессов (входных P?i и выходных P!i, причем P^{0}i = P?i ^ P!i; в число входных связей P?i входит L?i, в выходных связей P!i входит L!i); Lxi - множество внутренних связей/переходов в Pi, осуществляемых путем передачи, ввода и вывода элементов глубинного яруса связанных подпроцессов;

- (ni, ai, p?i, P!i) - «Объект: Os» УФО-элемента, где ni - имя «Объекта» (nicN); ai - множество признаков «Объекта» ni; P?i - множество показателей L?i; p! i - множество показателей L!i.

Такое представление системы, являющееся интеграцией РТ и CCS, позволило предложить по аналогии с исчислением процессов CCS для описания функций в рамках УФО-подхода *алгебру процессного подхода* (или *исчисление функций* УФО-элементов) [Жихарев, 2011; Зимовец, 2014]. При этом определены и описаны алгебраические операции на функциях элементов «Узел-Функция-Объект» по аналогии с операциями на процессах в исчислении процессов CCS. Применение операций исчисления функций позволяет формализовать процедуры декомпозиции и агрегации элементов (как с линейным порядком соединения, так и с порядком соединения «дерево») графоаналитических (визуальных) моделей. Сформулированные операции на функциях УФО-элементов могут быть использованы для алгебраического описания процессов в рамках любой графической нотации, соответствующей процессному подходу.

3. Интеграция с РТ Гренандера *ПИ-исчисления* Милнера позволяет представить функцию УФО-элемента в виде следующего выражения: F = <c(x).P, Tp, #(v).P>, где

- c(x) - входной префикс, получение данных *x* из канала *c* процессом P;

- Tp - внутренние действия процесса P, соответствующего функции F;

- $\overline{t}(y)$ - выходной префикс, передача данных *y* по каналу *t* процессом P.

В данном случае система si как УФО-элемента будет описываться следующим выражением [Михелев, 2010]:

si = <(L?i, L!i), ((L?i(p?i).Pi), Tp, (L!i(p!i).Pi)), (ni, ai, p?i, p!i)>,

или по правилам ПИ-исчисления:

si = <(L?i, L!i), (L?i(p?i).Tp.L!i(p!i)), (ni, ai, p?i, p!i)>,

где L?i(p?i) - входной префикс, L!i(p!i) - выходной префикс процесса Pi, а остальные обозначения представлены выше.

Оба упомянутых исчисления учитывают функциональные характеристики системы и связи процессов (функций) и не учитывают при этом ее субстанциальные (объектные) характеристики и структуру субстанции.

4. Следующий вариант формализации УФО-подхода использует *исчисление объектов* Абади-Кардели [Жихарев, 2013]. В данном исчислении абстрактный объект представляет собой набор методов и полей. Использование метода - это вызов метода,

изменение метода - это переопределение. Поле - частный случай метода. Изменение значения поля является частным случаем переопределения метода. Методы выполняются в контексте некоторого объекта, то есть имеют ссылку на объект. По аналогии с данным исчислением система **Si** как УФО-элемент представляется в виде специального объекта (см. рис. 2):

Si = [(Li?, Li!); f(Li?)Li!; (Oi?, Oi!, Oif)], где:

- **Li?** - поле специального объекта для описания множества входящих интерфейсных потоков, соответствующих входящим связям системы **Si**, **Li!** - поле специального объекта для описания множества исходящих интерфейсных потоков, соответствующих выходящим связям системы **Si**. Причем: **Li? ^ L** и **Li! ^ L**, т. е. относятся к множеству всех связей **L**;

- *f* - метод специального объекта, описывающий функцию системы **Si**, т. е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоков (входящих связей системы) **Li?** в выходящие **Li!**. В соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод объекта представляется в следующем виде: **f(Li?)Li!**, где **f** - метод объекта (функция/процесс системы **Si**) с областью определения **Li?** и областью значений **Li!**, соответственно;

- **Oi?** - множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики специального объекта (системы **Si**), **Oi!** - множество полей, которое содержит интерфейсные выходные характеристики специального объекта (системы **Si**), **Oif** - множество полей, которое содержит передаточные характеристики специального объекта (системы **Si**). При этом множество полей для описания объектных характеристик системы **Oi = Oi?uOi!uOif.**

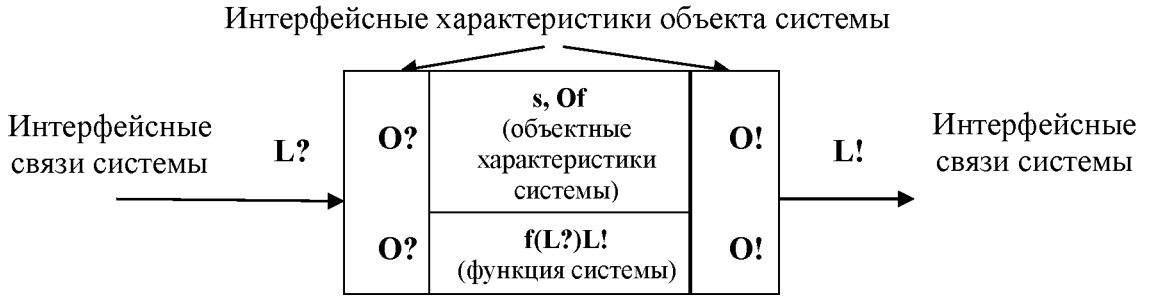

Рис. 2. Графический формализм системы как УФО-элемента
Fig. 2. Graphic formalism of the system as a UFO element

Этот непроизводный объект является элементарным носителем информации в исчислении систем как УФО-элементов. Данное определение учитывает не только субстанциальные (объектные) характеристики системы, но ее структурные и функциональные характеристики. Действительно, учтены поля для входных и выходных потоков **L?** и **L!**, которые являются частями надсистемы, т. е. заданы надсистемой, и определяют области определения и значения функции, которую должна выполнять система. Эта функция зафиксирована в методе **f(L?)L!**, который и определяет процесс преобразования входа в выход. Последний компонент **(Oi?, Oi!, Oif)** определяет поля, задающие субстанциальные интерфейсные и другие характеристики объекта системы, и представляет собою набор статических объектных характеристик - константные поля.

Данное формальное определение соответствует системно-объектному пониманию системы как *функционального объекта, функция которого обусловлена ^^нкц^ей объекта более высокого яруса* [Мельников, 1978]. При этом метод (функциональная зависимость) может быть подробно описан, например, с помощью скрипта.

Описанный способ представления системы позволил предложить основные операции с УФО-элементами в рамках исчисления систем на основе системно-объектного подхода *(соединение объектов, объединение объектов по входу* и *объединение объектов по*

выхо^^), которые рассматриваются как базовые операции предлагаемого исчисления [Маторин, 2017б, 2]. Они соответствуют трем структурным явлениям и трем видам объектов, из которых может быть создана любая структура и система любой сложности: простой поток (простой объект), слияние потоков (объект слияния) и разветвление потока (объект разветвления). По сути дела, эти операции сводятся к описанию изображения, получаемого путем построения конфигурации из непроизводных объектов (графических формализмов) и описания незамкнутых связей. Все остальные взаимодействия УФО-элементов как специальных объектов могут быть получены путем комбинирования базовых операций.

Заключение

1. Понятие «система» не является средством, обеспечивающим удобство изучения и описания исследуемых объектов, по аналогии с понятием «множество». Системы существуют в реальной действительности, т. е. имеют онтологический статус. Мир устроен системно! Причем существуют и системы-явления, и системы-классы.
2. Традиционные теоретические рассуждения о системах не позволяют создать действительно системную теорию (общую или абстрактную) в связи с не конструктивностью традиционного системного подхода.
3. Описанный выше системно-объектный подход позволяет создать теорию систем, обладающую объяснительными и предсказательными возможностями.
4. Предлагаемая теория систем обладает хорошим потенциалом для ее формализации с помощью различных алгебраических средств.
5. Представленные элементы новой системной теории позволяют, в свою очередь, создать метод системно-объектного графоаналитического моделирования, обеспечивающий учет большего количества общесистемных принципов и закономерностей, чем учитывают средства, используемые ранее.

Работа поддержана грантами РФФИ 18-07-00355а, 18-07-00356а, 19-07-00290а и № 19-07-00Ша, 19-29-01047мк, 16-29-12864офи-м.

Список литературы

1. Агошкова Е.Б., Ахлибинский Б.В., Флейшман Б.С. 1998. Системология: сущность и место в научном знании. Синергетика и методы науки. СПб.: Наука, 63-76.
2. Буч Гради, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон. 2010. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. СПб.: М.: «Вильямс», 720.
3. Винер Н. 1960. Творец и робот. М.: Прогресс., 104.
4. Гернек Ф. 1966. Альберт Эйнштейн. М.: Прогресс, 107.
5. Гиг Дж. ван. 1981. Прикладная общая теория систем В 2 кн. М.: Мир. Кн. 2, 733.
6. Жихарев А.Г., Маторин С.И. 2011. Метод формализации организационных знаний. Искусственный интеллект и принятие решений. № 2: 12-18.
7. Жихарев А.Г. 2013. Формализованное графоаналитическое представление организационных знаний. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Белгород, 23.
8. Зимовец, О.А. 2014. Методы компьютерной визуализации и трансформации административных процедур. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Белгород, 23.
9. Йордан Э., Аргила К. 1999. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании. М.: «ЛОРИ», 264.
10. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б. 2002. Применение теории паттернов для формализации системологического УФО-анализа. Научно-техническая информация. Сер. 2. №11: 1-11.
11. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б., Зиньков С.В., Маторин В.С. 2006. Синтез и анализ систем в свете подхода «Узел-Функция-Объект». Научно-техническая информация. Сер. 2. 8: 10-16.
12. Маторин С.И., Зимовец О.А. 2014. Общая теория систем. Белгород: Изд-во БУКЭП, 178.

13. Маторин С.И., Зимовец О.А., Щербинина Н.В., Сульженко Т.С. 2016. Концепция формализованной теории систем, основанной на подходе «Узел-Функция-Объект». Научные ведомости БелГУ. Серия Экономика. Информатика. № 16 (237), Выпуск 39: 159-66.

14. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 2017а. Обоснование взаимосвязей общесистемных принципов и закономерностей с позиции системно-объектного подхода. Труды Института системного анализа РАН. Том 67. № 3: 54-63.

15. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 20176. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний. Искусственный интеллект и принятие решений. № 3: 95-106.

16. Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018а. Формализация системно-объектного подхода. Прикладная информатика. Выпуск 13. № 3(75): 124-134.

17. Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018б. Учет общесистемных закономерностей при системно-объектном моделировании организационных знаний. Искусственный интеллект и принятие решений. №3: 115-126.

18. Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018в. Общесистемные закономерности как содержательные элементы системной теории, основанной на системно-объектном подходе. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 45(2): 372-284.

19. Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018г. Классификация систем как элементов «Узел-Функция-Объект». Научный результат. 3(3): 15-27.

20. Мельник М.С. 2013. Формирование общей теории систем: результаты и проблемы исследования. Электронный ресурс. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschey-teorii-sistem-rezultaty-i-problemy-issledovaniya (дата обращения: 3. 10. 2019).

21. Мельников Г.П. 1978. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 368.

22. Михелев М.В., Маторин С.И. 2010. Формализация УФО-элементов с помощью алгебраического аппарата пи-исчисления. Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. № 19(90). Выпуск № 16/1: 145-149.

23. Никаноров С.П. 1969. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 7-45.

24. Оптнер Станфорд Л. 1969. Системный анализ для решения деловых и промышленн^хх проблем. М.: Советское радио, 216.

25. Садовский В.Н. 1974. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. М., 106.

26. Уемов А.И. 1978. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 272.

27. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. 1982. Системы и модели. М., Радио связь, 152.

28. Ackoff R.L. 1964. General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science. In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology.

29. Miller J.G. 1975. The Nature of Living Systems. Behavioral Science. V. 20. No. 6: 345-365.

References

1. Agoshkova E.B., Ahlibinskij B.V., Flejshman B.S. 1998. Sistemologija: sushhnost' i mesto v nauchnom znanii [Systemology: essence and place in scientific knowledge]. Sinergetika i metody nauki. SPb.: Nauka, 63-76.

2. Buch Gradi, Robert A. Maksimchuk, Majkl U. Jengl, Bobbi Dzh. Jang, Dzhim Konallen, Kelli A. H'juston. 2010. Ob’ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij [Object-oriented analysis and design with sample applications]. SPb.: M.: «Vil'jams», 720.

3. Viner N. 1960. Tvorec i robot [Creator and robot]. M.: Progress, 104.

4. Gernek F. 1966. Al'bert Jejnshtejn [Albert Einstein]. M.: Progress, 107.

5. Gig Dzh. van. 1981. Prikladnaya obshhaya teoriya sistem [Applied General System Theory] V 2 kn. M.: Mir. Kn. 2, 733.

6. Zhiharev A.G., Matorin S.I. 2011. Metod formalizacii organizacionnyh znanij [Method for formalizing organizational knowledge]. Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]. № 2: 12-18.

7. Zhiharev A.G. 2013. Formalizovannoe grafoanaliticheskoe predstavlenie organizacionnyh znanij [A formalized graphical analysis of organizational knowledge]. Avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk. Belgorod, 23.

8. Zimovec, O.A. 2014. Metody komp'juternoj vizualizacii i transformacii administrativnyh procedur [Methods of computer visualization and transformation of administrative procedures]. Avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk. Belgorod. 23 p.

9. Jordan Je., Argila K. 1999. Strukturnye modeli v ob’ektno-orientirovannom analize i proektirovanii [Structural models in object-oriented analysis and design]. M.: «LORI», 264.

10. Matorin S.I., Elchaninov D.B. 2003. Application of the pattern theory for formalization systemological UFO-analysis. Automatic Document and Mathematical Linguistics. New York: Allerton Press, Inc. 36(6): 1-12.

11. Matorin S.I., El'chaninov D.B., Zin'kov S.V., Matorin V.S. 2006. Sintez i analiz sistem v svete podhoda «Uzel-Funkcija-Ob’ekt» [Synthesis and analysis of systems in the light of the “Unite-Function-Object” approach]. Nauchno-tehnicheskaja informacija. Ser. 2. [Scientific and technical information. Ser. 2.] № 8: 10-16.

12. Matorin S.I., Zimovec O.A. 2014. Obshhaja teorija system [General theory of systems]. Belgorod: Izd-vo BUKJeP, 178.

13. Matorin S.I., Zimovec O.A., Shherbinina N.V., Sul'zhenko T.S. 2016. Koncepcija formalizovannoj teorii sistem, osnovannoj na podhode «Uzel-Funkcija-Ob’ekt» [The concept of a formalized theory of systems based on the approach "Unite-Function-Object"]. Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Jekonomika. Informatika [Scientific statements of BelSU. Series Economics. Informatics.]. № 16 (237), Vypusk 39: 159-166.

14. Matorin S.I., Zhiharev A.G., Zimovec O.A. 2017a. Obosnovanie vzaimosvjazej obshhesistemnyh principov i zakonomernostej s pozicii sistemno-ob#ektnogo podhoda [Justification of the relationship of system-wide principles and patterns from the perspective of a system-object approach]. Trudy Instituta sistemnogo analiza RAN [Proceedings of the Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences]. 67(3): 54-63.

15. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. 2018. Objects calculus in the system-object method of knowledge representation. Scientific and Technical Information Processing. — «Pleiades Publishing, Ltd.». 45(5): 1-10.

16. Matorin S.I., Zhiharev A.G. 2018a. Formalizacija sistemno-ob#ektnogo podhoda [Formalization of the system-object approach]. Prikladnaja informatika [Applied Informatics]. Vypusk 13. 3(75): 124-134.

17. Matorin S.I., Zhiharev A.G. 2018b. Uchet obshhesistemnyh zakonomernostej pri sistemno-ob#ektnom modelirovanii organizacionnyh znanij [Taking into account system-wide regularities in system-object modeling of organizational knowledge]. Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial intelligence and decision making]. 3: 115-126.

18. Matorin S.I., Zhiharev A.G. 2018v. Obshhesistemnye zakonomernosti kak soderzhatel'nye jelementy sistemnoj teorii, osnovannoj na sistemno-ob’ektnom podhode [System-wide laws as substantial elements of a system theory based on a system-object approach]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Jekonomika. Informatika [Scientific statements of BelSU. Ser. Economy. Informatics]. 45(2): 372-284.

19. Matorin S.I., Zhiharev A.G. 2018g. Klassifikacija sistem kak jelementov «Uzel-Funkcija-Ob’ekt» [Classification of systems as elements "Unite-Function-Object"]. Nauchnyj rezul'tat [Scientific result]. Tom 3. № 3: 15-27.

20. Mel'nik M.S. 2013. Formirovanie obshhej teorii sistem: rezul'taty i problemy issledovanija [Formation of a general theory of systems: research results and problems]. Jelektronnyj resurs. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschey-teorii-sistem-rezultaty-i-problemy-issledovaniya (accessed: 3. 10. 2019).

21. Mel'nikov G.P. 1978. Sistemologija i jazykovye aspekty kibernetiki [Systemology and linguistic aspects of cybernetics]. M.: Sov. radio, 368.

22. Mihelev M.V., Matorin S.I. 2010. Formalizacija UFO-jelementov s pomoshh'ju algebraicheskogo apparata pi-ischislenija [Formalization of UFO-elements using the algebraic apparatus of pi-calculus]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Informatika [Scientific statements of BelSU. Ser. Informatics]. № 19(90). Vypusk № 16/1: 145-149.

23. Nikanorov S.P. 1969. Sistemnyj analiz: jetap razvitija metodologii reshenija problem v SShA [System analysis: the stage of development of a problem solving methodology in the USA]. Sistemnyj

analiz dlja reshenija delovyh i promyshlennyh problem [System analysis to solve business and industrial problems]. M.: Sovetskoe radio, P. 7-45.

24. Optner Stanford L. 1969. Sistemnyj analiz dlja reshenija delovyh i promyshlennyh problem [System analysis to solve business and industrial problems]. M.: Sovetskoe radio, 216.

25. Sadovskij V.N. 1974. Osnovanija obshhej teorii sistem. Logiko-metodologicheskij analiz [The foundations of the general theory of systems. Logical and methodological analysis]. M., 106.

26. Uemov A.I. 1978. Sistemnyj podhod i obshhaja teorija system [Systems approach and general theory of systems]. M.: Mysl', 272.

27. Shreyder YU.A., Sharov A.A. 1982. Sistemy i modeli [Systems and models]. M., Radio i svyaz', 152.

28. Ackoff R.L. 1964. General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science. In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology.

29. Miller J.G. 1975. The Nature of Living Systems. Behavioral Science. 20(6): 345-365.

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2019. Системно-объектный подход как основа общей теории систем. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 717-730. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-717-730

Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2019. System-object approach as the basis of the general system. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (4): 717-730 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-717-730