

УДК: 001.51; 005

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-2-0-2

Маторин С.И.<sup>1</sup>  
Жихарев А.Г.<sup>2</sup>  
Белов С.П.<sup>1</sup>

**ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ИХ УЧЕТ  
В ПРОЦЕССЕ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
В ТЕРМИНАХ «УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ»**

<sup>1</sup>) Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, д. 116а,  
г. Белгород, 308023, Россия

<sup>2</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85,  
г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: matorin@bsu.edu.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, belov@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

В работе уточняется определение системы в терминах системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект», основанного на исчислении объектов Абади-Кардели, предложена формализация понятий «системообразующий фактор» и «адаптация системы». Представленные формализмы использованы для учета общесистемных закономерностей при построении графоаналитических моделей организационно-деловых и производственно-технологических процессов в терминах «Узел-Функция-Объект». Построено формальное описание общесистемных закономерностей, которое позволяет обосновать иерархическую зависимость между ними.

**Ключевые слова:** системный подход «Узел-Функция-Объект», общесистемные закономерности, графоаналитическое моделирование.

UDC 001.51; 005

Matorin S.I.<sup>1</sup>  
Zhikharev A.G.<sup>2</sup>  
Belov S.P.<sup>1</sup>

**APPLICATION OF OPENGL IN CREATION OF THE GRID  
OF DISPERSION OF EMISSIONS IN THE ATMOSPHERE  
BY THE ROAD-BUILDING TECHNICIS**

<sup>1</sup>) Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia

<sup>2</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: matorin@bsu.edu.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, belov@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The definition of the system in terms of the system-object approach "Unit-Function-Object" based on the calculation of Abadi-Cardeli objects is specified in the work, the formalization of the concepts "system-forming factor" and "system adaptation" is proposed. The presented formalisms were used to take into account system-wide regularities in the construction of graphoanalytical models of organizational systems and business processes using the system-object method of representing knowledge. The revealed possible ways of taking into account the regularities are compared with the capabilities of the system-structural and object-oriented approaches, as well as the BPMN notation. A formal description of system-wide regularities is constructed, which allows one to justify the hierarchical dependence between them.

**Keywords:** system approach "Unit-Function-Object", system-wide regularities, graph analytical modeling.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при моделировании сложных систем (организационно-деловых и производственно-технологических процессов) широко применяются различные графические языки, например, средства системно-структурного или системно-функционального анализа DFD, IDEF0, IDEF3; средство объектного анализа UML; нотация BPMN (гибрид UML и IDEF3). Хотя эти средства/языки часто позиционируются как средства системного анализа, в их документации и примерах их использования не отмечаются возможности и последствия учета, так называемых, общесистемных закономерностей [1], большинство из которых были установлены во времена бурного развития системных исследований. В рамках традиционной теоретико-множественной теории систем эти закономерности только констатируются и описываются, но не обосновываются с единой позиции концептуальными средствами системного подхода ни по отдельности, ни во взаимодействии между собой [2].

Эти закономерности и их взаимосвязи получили обоснование в рамках системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход) [3, 4]. Последнее обстоятельство создает предпосылки учета общесистемных принципов и законов при моделировании сложных систем средствами системно-объектного подхода в терминах «Узел-Функция-Объект» [5, 6].

## 1. ИСХОДНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В рамках УФО-подхода система  $s$  представляется в виде специального объекта исчисления объектов Абади-Кардели [7] (называемого нами «узловым объектом»), состоящего из полей и методов:  $s = [us, fs, Os]$ , где:

**us** – **узел**, формально представляет собой поле узлового объекта для описания объектов еще одного специального вида (называемых нами «*потокowymi объектами*»), соответствующих множеству функциональных связей данной системы.  $us \leftrightarrow Ls? \cup Ls!$ , где  $Ls?$  – множество входящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих входящим связям системы  $s$ ,  $Ls!$  – множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих выходящим связям системы  $s$ . Причем:  $Ls? \subset L$  и  $Ls! \subset L$ , т.е. относятся к множеству всех связей  $L$  (потоковых объектов). При этом  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n\}$ , где  $n$  – количество потоковых объектов (связей системы);  $l_i = [r_1, r_2, \dots, r_k]$ , где  $l_i \in L$ ;  $k$  – количество полей потокового объекта  $l_i$ ;  $r_1, r_2, \dots, r_n$  – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение».

**fs** – **функция**, формально представляет собою метод узлового объекта, описывающий функцию системы  $s$ , т.е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы)  $Ls?$  в выходящие  $Ls!$ . Далее, в соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод узлового объекта будем представлять в следующем виде:  $fs(Ls?)Ls!$ , где  $fs$  – метод узлового объекта (функция/процесс системы  $s$ ) с областью определения  $Ls?$  и областью значений  $Ls!$ , соответственно.

**Os** – **объект**, формально представляющий собою множество полей узлового объекта для описания объектных (субстанциальных) характеристик системы  $s$ . Множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств:  $Os = Os? \cup Os! \cup Osf$ , где  $Os?$  – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики узлового объекта (системы  $s$ ),  $Os!$  – множество полей, которое содержит интерфейсные выходные характеристики узлового объекта (системы  $s$ ),  $Osf$  – множество полей, которое содержит передаточные характеристики узлового объекта (системы  $s$ ).

Таким образом, в полном соответствии с содержательным определением системы как функционального объекта, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса (т.е. надсистемы) [8], система  $s$ , формально представляется в виде следующего выражения:

$$s = [(Ls?, Ls!); fs(Ls?)Ls!; (Os?, Os!, Osf)].$$

Упомянутое в определении системы явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему  $s$  с определенной

функцией (*внешняя детерминанта системы*). Эта детерминанта формально описывается полем **us** узлового объекта, соответствующего данной системе, т.е. множеством потоковых объектов, соответствующих функциональным связям системы (**Ls?**, **Ls!**). Внешняя детерминанта системы есть причина ее возникновения, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, она рассматривается в качестве *универсального системообразующего фактора*. Функционирование же системы под влиянием внешней детерминанты является ее *внутренней детерминантой*, так как непосредственно определяет ее внутренние свойства (структурные, функциональные и субстанциальные свойства подсистем). Эта детерминанта формально описывается методом **fs** узлового объекта, соответствующего данной системе, т.е. в следующем виде: **fs(Ls?)Ls!**. Кроме того, функционирование системы в соответствии с внешней детерминантой устанавливает между системой и надсистемой *отношение поддержания функциональной способности более целого*.

Таким образом, можно уточнить формальное выражение для принятого определения системы следующим образом:

$$s = [us \Rightarrow fs \Rightarrow Os] \text{ и } s = [(Ls?, Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! \Rightarrow (Os?, Os!, Osf)].$$

Процесс приближения внутренней детерминанты (**fs(Ls?)Ls!**) системы к ее внешней детерминанте (**Ls? ∪ Ls! ↔ us**) представляет собой *адаптацию* системы к запросу надсистемы [8].

Полностью адаптированной считается система, у которой внутренняя детерминанта полностью соответствует внешней, т.е. **fs ↔ us**. Такая система функционирует в полном соответствии с функциональным запросом надсистемы. Сама адаптация представляет собой процесс приближения текущего функционирования системы к требуемому, т.е. **fs<sub>тек</sub> → fs ↔ us**. Узел **us** определяет область определения и область значений функции (**Dfs = Ls?** и **Efs = Ls!**) системы **s**. Параметры преобразования/отображения **fs: Ls? → Ls!** определяются объективными характеристиками **Os** системы **s**, задающими конкретные параметры приема системой входных потоков (**Os?**), параметры выполнения процесса **fs** (**Osf**) и параметры выдачи системой выходных потоков (**Os!**). Таким образом, приближение **fs<sub>тек</sub>** к **fs** обусловлено соответствующим изменением **Os = Os? ∪ Os! ∪ Osf**.

Для анализа возможностей системно-объектного подхода учитывать общесистемные закономерности необходимо эти закономерности формально описать, используя приведенные выше понятия.

## 2. УЧЕТ ОБЩЕСИСТЕМНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА УРОВНЕ УЗЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ

В первую очередь необходимо исследовать закономерности, связанные со структурными (узловыми) характеристиками систем, так как именно узловая характеристика системы, как было отмечено выше, рассматривается в качестве универсального системообразующего фактора в рамках системно-объектного подхода.

**Принцип коммуникативности** (*система связана множеством коммуникаций с окружающей средой*). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:  $\forall s \exists us: us \leftrightarrow Ls? \cup Ls!$ .

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается, в первую очередь, на контекстной диаграмме в виде функциональных (внешних) связей системы, которые далее замыкаются через внутренние (поддерживающие) связи данной системы на диаграммах декомпозиции разного уровня. Системно-объектный подход требует обязательного наличия хотя бы одного входа и, хотя бы одного выхода у любой системы на любом уровне иерархии.

**Принцип иерархичности** (*система на любом ярусе иерархии является частью системы более высокого яруса, т.е. надсистемы*). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall s \exists us: us \in us^* \Rightarrow s \in s^* (s^* \ni s). \text{ Т.е. } \forall us \exists us^*: us^* \ni us,$$

где  $us^*$  – узел системы  $s^*$ ;  $s^*$  – система более высокого яруса по сравнению с системой  $s$ .

Из данного выражения видно, что принцип иерархичности работоспособен только при выполнении принципа коммуникативности, т.е. когда справедливо  $\forall s \exists us$ , что хорошо согласуется с содержательной трактовкой этих принципов в терминах системно-объектного подхода [3].

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается в виде иерархии диаграмм декомпозиции произвольного числа уровней.

**Принцип моноцентризма** (по Богданову [9]: *устойчивая система обладает одним центром*).

С точки зрения авторов, трактующих данный принцип более широко [10], используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall us \exists !us^*: us^* \ni \dots \ni us^1 \ni \dots \ni us^2 \ni us^1 \ni us \text{ (или } us \in us^1 \in us^2 \in \dots \in us^1 \in \dots \in us^*) \Rightarrow s^* \ni \dots \ni s^1 \ni \dots \ni s^2 \ni s^1 \ni s,$$

где  $us^1$  – узел системы  $s^1$ ;  $us^2$  – узел системы  $s^2$ ;  $us^1$  – узел системы  $s^1$ .

Из данного выражения видно, что принцип моноцентризма работоспособен только при выполнении принципа иерархичности, т.е. если справедливо  $\forall us \exists us^*$ , что также хорошо согласуется с содержательной трактовкой этих принципов.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается в виде контекстной диаграммы с одной системой.

**Принцип организационной непрерывности** (*констатирует факт наличия между всякими двумя системами звеньев, вводящих их в одну «цепь ингрессии»*). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall (us_i \wedge us_j) \exists L_{ij}: L_{ij} \ni (Ls_i \wedge Ls_j),$$

где  $us_i$  – узел системы  $s_i$ ;  $us_j$  – узел системы  $s_j$ ;  $L_{ij}$  – множество (цепочка) связей между  $s_i$  и  $s_j$ ;  $Ls_i$  – множество связей  $s_i$ ;  $Ls_j$  – множество связей  $s_j$ .

Можно показать, что данный принцип, также установленный Богдановым [9], выполняется только в условиях моноцентризма, понимаемого расширенно [10], т.е.:

$$\forall (us_i \wedge us_j) \exists L_{ij}: L_{ij} \ni (Ls_i \wedge Ls_j) \Leftrightarrow \forall us \exists !us^*.$$

Пусть система  $s_i$  является частью иерархии систем так, что:  $us_i \in us^{1i} \in us^{2i} \in us^{3i} \in \dots \in us^n$ , т.е. самый верхний уровень данной иерархии представляет собой систему  $s^n$ . Система  $s_j$  является частью иерархии систем так, что:  $us_j \in us^{1j} \in us^{2j} \in us^{3j} \in \dots \in us^m$ , т.е. самый верхний уровень данной иерархии представляет собой систему  $s^m$ . Допустим, что  $\forall us \exists !us^*: us^* \ni us$  не верно (принцип моноцентризма не выполняется), т.е.  $us^n \notin us^*$  и  $us^m \notin us^*$ . Тогда  $\exists (us_i \wedge us_j): Ls_i \cap Ls_j = \emptyset$ . Следовательно,  $L_{ij}$  не является *множеством связей между всякими двумя системами*, т.е. принцип организационной непрерывности не выполняется. Полученный вывод можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу расширенного понимания моноцентризма.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается путем прослеживания связей между системами в рамках всей модели.

**Принцип обратной связи** (*устойчивость в сложных динамических системах достигается за счёт замыкания петель обратных связей*). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\exists ((L_{ij} \ni (Ls_i! \wedge Ls_j?)) \wedge (L_{ji} \ni (Ls_j! \wedge Ls_i?))) \Rightarrow \exists us \ni (us_i \wedge us_j) \Rightarrow \exists s \ni (s_i \wedge s_j),$$

где  $L_{ij}$  – множество связей между  $s_i$  и  $s_j$ ;  $L_{ji}$  – множество связей между  $s_j$  и  $s_i$ ;  $Ls_i!$  – множество выходных связей  $s_i$ ;  $Ls_j?$  – множество входных связей  $s_j$ ;  $Ls_j!$  – множество выходных связей  $s_j$ ;  $Ls_i?$  – множество входных связей  $s_i$ .

Из данного выражения видно, что принцип обратной связи работоспособен только при выполнении принципа коммуникативности, т.е. если справедливо  $\forall s \exists us: us \leftrightarrow Ls? \cup Ls!$ , что также хорошо согласуется с содержательной трактовкой этих принципов.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается в виде двухсторонних связей и на контекстной диаграмме, и на диаграммах декомпозиции в соответствии с правилом замкнутости, входящим в концепцию системной теории, основанной на системно-объектном подходе [4].

**Принцип прогрессирующей сегрегации** (фиксирует прогрессирующую потерю взаимодействия между элементами системы в ходе ее дифференциации при усилении связей с некоторым элементом, выступающим в роли системного центра). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\exists us: us \ni (us_i \wedge us_j): (Ls_i \cap Ls_j) \rightarrow \emptyset \Rightarrow ((Ls_i \cap Ls) \wedge (Ls_j \cap Ls)) \rightarrow \infty.$$

Принцип прогрессирующей сегрегации работоспособен только при выполнении принципа иерархичности, т.е. если справедливо  $\forall us \exists us^*$ , что согласуется с содержательной трактовкой этих принципов.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается на диаграмме декомпозиции любого уровня в виде сокращения внутренних связей и появления новых граничных связей.

**Принцип внешнего дополнения** (восходящие к системному центру воздействия координируемых элементов подвергаются своеобразному «обобщению», а нисходящие от системного центра координационные импульсы подвергаются «специфицированию» в зависимости от характера локальных процессов за счет обратных связей от этих процессов). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\exists us \in (us^1 \in us^2 \in \dots \in us^{i-1} \in us^i) \Rightarrow \exists ((Ls^1 \cap Ls^{1?}) \subset (Ls^{1!} \cap Ls^{2?}) \subset \dots \subset (Ls^{i-1!} \cap Ls^{i?})) \text{ и}$$

$$\exists us^i \ni (us^{i-1} \ni \dots \ni us^2 \ni us^1 \ni us) \Rightarrow \exists ((Ls^i \cap Ls^{i-1?}) \supset \dots \supset (Ls^{2!} \cap Ls^{1?}) \supset (Ls^{1!} \cap Ls^?)).$$

Принцип внешнего дополнения работоспособен только при выполнении принципа иерархичности с учетом принципа обратной связи.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается возможностью содержательной декомпозиции материальных и информационных потоков при декомпозиции процессов и объектов, поскольку в концепцию системно-объектного подхода входит содержательная категориальная классификация потоков связей [11].

**Принцип взаимно-дополнительных соотношений/комплиментарности** (устойчивость системы достигается взаимно-дополнительными связями между её элементами в виде замкнутых контуров обратных связей). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall s \ni (s_i \wedge s_j) \exists us \ni (us_i \wedge us_j): \exists ((L_{ij} \ni (Ls_i! \wedge Ls_j?)) \wedge (L_{ji} \ni (Ls_j! \wedge Ls_i?))).$$

Принцип комплиментарности работоспособен только при выполнении принципа обратной связи. По сути дела, это один и тот же принцип. По мнению авторов, принцип обратной связи следует рассматривать как потенциальную возможность существования обратных связей, а принцип комплиментарности как реализацию (экстенцию) такой возможности для обеспечения устойчивости системы.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается, как принцип обратной связи, в виде двухсторонних связей и на контекстной диаграмме, и на диаграммах декомпозиции в соответствии с правилом замкнутости, входящим в концепцию системной теории, основанной на системно-объектном подходе [4].

### **3. УЧЕТ ОБЩЕСИСТЕМНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА УРОВНЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ**

Далее необходимо исследовать закономерности, связанные с функциональными характеристиками систем, которые, как было отмечено выше, в рамках системно-объектного подхода являются следствием узловых.

**Гипотеза семиотической непрерывности** (система есть образ её среды, т.е. система как элемент окружающей среды отражает некоторые существенные ее свойства). Согласно системно-объектного подхода главной составляющей среды, окружающей систему, является ее надсистема. Эта надсистема «отображает» свою функциональность на функциональность системы с помощью функционального запроса на систему с определенной функцией (внешней детерминанты) и, таким образом, система своим функционированием (внутренней детерминантой) «отражает» некоторые функциональные (т.е. самые существенные) свойства своей надсистемы. При этом функциональный запрос надсистемы (внешняя детерминанта системы) представляет собой набор связей запрашиваемой системы с другими системами, т.е. узел данной системы. Такое понимание семиотической непрерывности позволяет, используя упомянутые выше термины и обозначения, представить данный принцип в виде следующих выражений:

$$\exists s \in s^* \Rightarrow \exists us \in us^*: (us^* = Ls^*? \cup Ls^*!) \Rightarrow fs^*(Ls^*?)Ls^*! (fs^*: Ls^*? \rightarrow Ls^*!) \Rightarrow (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! (fs: Ls? \rightarrow Ls!) \text{ и } fs(Ls?)Ls! \in fs^*(Ls^*?)Ls^*!,$$

т.е.  $fs^*(Ls^*?)Ls^*! \Rightarrow (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! : fs \in fs^*$ .

где  $Ls^*?$  – множество входных связей  $s^*$ ;  $Ls^*!$  – множество выходных связей  $s^*$ ;  $fs$  – функция  $s$ ;  $fs^*$  – функция  $s^*$ .

Данное представление семиотической непрерывности позволяет рассматривать данную закономерность не как гипотезу, а как основу всех общесистемных закономерностей, связанных с функциональными характеристиками систем. Очевидно, что гипотеза семиотической непрерывности справедлива только при выполнении принципа иерархичности, т.е. если справедливо  $\forall us \exists us^*$ .

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается таким образом, что функциональный запрос надсистемы к системе (т.е. самое существенное ее свойство) отображается в виде требуемых функциональных связей системы, т.е. в виде узла, на любом уровне иерархии.

**Принцип прогрессирующей механизации** (части системы в ходе ее развития специализируются или становятся фиксированными по отношению к определенным функциям или механизмам) Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\begin{aligned} \exists (s_i \wedge s_j) \in s \Rightarrow \exists (us_i \wedge us_j) \in us : (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! (fs: Ls? \rightarrow Ls!); \\ fs(Ls?)Ls! \Rightarrow us_i \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i!, (fs_i: Ls_i? \rightarrow Ls_i!); \\ fs(Ls?)Ls! \Rightarrow us_j \Rightarrow fs_j(Ls_j?)Ls_j!, (fs_j: Ls_j? \rightarrow Ls_j!), \end{aligned}$$

где  $fs_i$  – функция  $s_i$ ;  $fs_j$  – функция  $s_j$ .

Принцип прогрессирующей механизации работоспособен только при условии справедливости гипотезы семиотической непрерывности, т.е.  $fs^*(Ls^*?)Ls^*! \Rightarrow (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls!$ .

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается таким образом, что подсистемы на диаграммах декомпозиции любого уровня возникают как следствия существования граничных связей, т.е. связей верхнего уровня иерархии.

**Принцип актуализации функций** (объект выступает как организованный лишь в том случае, если свойства его частей (элементов) проявляются как функции сохранения и развития этого объекта). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\begin{aligned} \exists (us_i \wedge us_j) \in us : (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! (fs: Ls? \rightarrow Ls!); \\ ((us_i \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i!) \wedge (us_j \Rightarrow fs_j(Ls_j?)Ls_j!)) \in fs(Ls?)Ls! \Rightarrow \exists s \exists (s_i \wedge s_j). \end{aligned}$$

Таким образом, принцип актуализации функций и принцип прогрессирующей механизации описывают одно и то же явление функционального соответствия элементов системы разного уровня иерархии, но с разных сторон: прогрессирующая механизация – с верху в низ, актуализация функций – с низу в верх. Соответственно данный принцип работает только при выполнении

предыдущего, так как существование любой системы обусловлено функциональным запросом надсистемы на систему с определенной функцией.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается таким образом, что подсистемы на иерархии диаграмм любого уровня декомпозиции являются поддерживающими частями систем верхнего уровня.

**Принцип самоорганизации** (процесс поступательной функционализации элементов системы). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\exists (s_i \in s_{i-1} \in \dots \in s_2 \in s_1) \in s \Rightarrow \exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! (fs: Ls? \rightarrow Ls!) \Rightarrow \exists us_1 \Rightarrow fs_1(Ls_1?)Ls_1! \Rightarrow \exists us_2 \Rightarrow fs_2(Ls_2?)Ls_2! \Rightarrow \dots \Rightarrow \exists us_{i-1} \Rightarrow fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}! \Rightarrow \exists us_i \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i!$$

Принцип самоорганизации работоспособен только при условии выполнения принципа прогрессирующей механизации, т.е.  $fs^*(Ls^*)Ls^*! \Rightarrow (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls!$  И, по сути дела, уточняет последний.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается, как и предыдущий.

**Закон иерархических компенсаций** (в системе рост разнообразия на верхнем уровне иерархии обеспечивается его ограничением на более низких уровнях). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\forall s \exists (s_1 \ni s_2 \ni \dots \ni s_{i-1} \ni s_i) \exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! (fs: Ls? \rightarrow Ls!).$$

$$\forall s_1 \in s \exists us_1: (us_1 = Ls_1? \cup Ls_1!) \Rightarrow fs_1(Ls_1?)Ls_1! \in fs(Ls?)Ls!;$$

$$\forall s_2 \in s_1 \exists us_2: (us_2 = Ls_2? \cup Ls_2!) \Rightarrow fs_2(Ls_2?)Ls_2! \in fs_1(Ls_1?)Ls_1!;$$

$$\forall s_{i-1} \in \dots \in s_2 \exists us_{i-1}: (us_{i-1} = Ls_{i-1}? \cup Ls_{i-1}!) \Rightarrow fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}! \in \dots \in fs_2(Ls_2?)Ls_2!;$$

$$\forall s_i \in s_{i-1} \exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \in fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}!.$$

$$\text{T.e. } fs_i(Ls_i?)Ls_i! \in fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}! \in \dots \in fs_2(Ls_2?)Ls_2! \in fs_1(Ls_1?)Ls_1! \in fs(Ls?)Ls!$$

Закон иерархических компенсаций работоспособен только при условии выполнения принципа прогрессирующей механизации и также его, по сути дела, уточняет.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается таким образом, что в модели системы процессы верхнего уровня соответствуют более общим разнообразным функциям. Процессы нижнего уровня соответствуют более специальным ограниченным функциям.

**Закон необходимого разнообразия** (для создания системы, способной справиться с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием, необходимо обеспечить, чтобы система имела большее разнообразие возможностей, чем разнообразие решаемой проблемы). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\forall s_i \in (s_{i-1} \in \dots \in s_2 \in s_1 \in s) \exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \in fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}!.$$

$$\forall s_{i-1} \in \dots \in s_2 \exists us_{i-1}: (us_{i-1} = Ls_{i-1}? \cup Ls_{i-1}!) \Rightarrow fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}! \in \dots \in fs_2(Ls_2?)Ls_2!;$$

$$\forall s_2 \in s_1 \exists us_2: (us_2 = Ls_2? \cup Ls_2!) \Rightarrow fs_2(Ls_2?)Ls_2! \in fs_1(Ls_1?)Ls_1!;$$

$$\forall s_1 \in s \exists us_1: (us_1 = Ls_1? \cup Ls_1!) \Rightarrow fs_1(Ls_1?)Ls_1! \in fs(Ls?)Ls!;$$

$$\text{T.e. } fs(Ls?)Ls! \ni fs_1(Ls_1?)Ls_1! \ni fs_2(Ls_2?)Ls_2! \ni \dots \ni fs_{i-1}(Ls_{i-1}?)Ls_{i-1}! \ni fs_i(Ls_i?)Ls_i!$$

Закон необходимого разнообразия работоспособен только при условии выполнения закона иерархических компенсаций, так как для обеспечения необходимого разнообразия используется механизм иерархических компенсаций. Эти две закономерности соотносятся друг с другом также как принципы прогрессирующей механизации и актуализации функций.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается, как и предыдущий.

#### 4. УЧЕТ ОБЩЕСИСТЕМНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА УРОВНЕ ОБЪЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ

Для завершения исследования необходимо рассмотреть закономерности, связанные с субстанциальными (объектными) характеристиками систем, которые, как было отмечено выше, в рамках системно-объектного подхода являются следствием функциональных.

**Принцип совместимости** (условием взаимодействия между системами является наличие у них относительной совместимости, то есть относительной качественной и организационной однородности). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \Rightarrow Os_i = Os_i? \cup Os_i! \cup Os_if \Rightarrow \exists s_i.$$

$$\exists us_j: (us_j = Ls_j? \cup Ls_j!) \Rightarrow fs_j(Ls_j?)Ls_j! \Rightarrow Os_j = Os_j? \cup Os_j! \cup Os_jf \Rightarrow \exists s_j.$$

$$\exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls! \Rightarrow Os = Os? \cup Os! \cup Osf \Rightarrow \exists s.$$

$$((Ls_i! \cap Ls_j?) \vee (Ls_j! \cap Ls_i?) \neq \emptyset) \wedge ((fs_i(Ls_i?)Ls_i! \wedge fs_j(Ls_j?)Ls_j!) \in fs(Ls?)Ls!) \wedge ((Os_i! \leftrightarrow Os_j?) \vee (Os_j! \leftrightarrow Os_i?)) \Rightarrow \exists (L_{ij} \vee L_{ji}) \Rightarrow \exists s \exists (s_i \wedge s_j),$$

где  $Os_i?$  – множество входных интерфейсных характеристик  $s_i$ ;  $Os_i!$  – множество выходных интерфейсных характеристик  $s_i$ ;  $Os_if$  – множество переходных объектных характеристик  $s_i$ ;  $Os_j?$  – множество входных интерфейсных характеристик  $s_j$ ;  $Os_j!$  – множество выходных интерфейсных характеристик  $s_j$ ;  $Os_jf$  – множество переходных объектных характеристик  $s_j$ .

Из приведенных выражений видно, что принцип совместимости работоспособен только при условии выполнения принципа организационной и гипотезы семиотической непрерывности.

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается установленными правилами системной композиции, базовой иерархией связей и классификацией узлов [3].

**Принцип эквивиальности** (способность системы достигать состояния, которое не зависит от времени и начальных условий, а зависит только от параметров системы). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall s \exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls!, fs: Ls? \rightarrow Ls! \Rightarrow Os = Os? \cup Os! \cup Osf.$$

При этом узловая характеристика системы  $us$  рассматривается как ее важнейший параметр, т.к. представляет собой функциональный запрос надсистемы, определяющий причину и смысл существования данной системы. Принцип эквивиальности работоспособен только при условии выполнения принципа самоорганизации, т.е. «эквивиальное» состояние достигается за счет поступательной функционализации элементов системы, направляемой ее внешней детерминантой  $us$ .

В процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода данный принцип учитывается в виде диаграмм декомпозиции, состояние которых зависит только от контекстных диаграмм, отображающих функциональный запрос на систему с определенной функцией.

**Закон минимума** (устойчивость системы определяется устойчивостью ее самого слабого звена). По мнению авторов, устойчивость системы в значительной степени зависит от того насколько данная система адаптирована к запросу надсистемы. Таким образом, устойчивая система  $s$  – это система, для которой:  $Os \leftrightarrow fs(Ls?)Ls! \leftrightarrow us$ , т.е. система полностью адаптированная к запросу надсистемы. Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\exists s: Os \leftrightarrow fs(Ls?)Ls! \leftrightarrow us \Rightarrow \exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls!, fs: Ls? \rightarrow Ls! \Rightarrow Os = Os? \cup Os! \cup Osf.$$

Пусть  $s \exists (s_i \wedge s_j)$ .

$$\exists s_i: Os_i \leftrightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \leftrightarrow us_i \Rightarrow \exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \Rightarrow Os_i = Os_i? \cup Os_i! \cup Os_if; fs_i(Ls_i?)Ls_i! \in fs(Ls?)Ls!;$$

$$\exists s_j: O's_j \leftrightarrow f's_j(Ls_j?)Ls_j! \leftrightarrow us_j \Rightarrow \exists us_j: (us_j = Ls_j? \cup Ls_j!) \Rightarrow (f's_j(Ls_j?)Ls_j! \in fs(Ls?)Ls!) \Rightarrow (O's_j \supset Os_j),$$

где  $O's_j$  – множество объектных характеристик не адаптированной системы;  $f's_j$  – функция не адаптированной системы.

Степень устойчивости  $s$  определится степенью адаптированности/устойчивости  $s_j$ , которая представляет собой самое слабое звено, так  $s_j$  не до конца адаптирована к функциональному запросу со стороны  $s$ .

Закон минимума работоспособен только при условии выполнения принципа самоорганизации, так как именно за счет механизма самоорганизации происходит адаптация элементов системы к их функциональным запросам.

Учет данного принципа в процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода обеспечивается возможностью описания процесса адаптации системы к запросу надсистемы за счет изменения объектных характеристик.

**Закон расхождения** (различные части однородной системы подвержены действию сил, различающихся по качеству и величине, вследствие чего они изменяются различно). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\exists s \exists (s_i \wedge s_j): s_i \sim s_j.$$

$$\forall s \exists us: (us = Ls? \cup Ls!) \Rightarrow fs(Ls?)Ls!, fs: Ls? \rightarrow Ls! \Rightarrow Os = Os? \cup Os! \cup Osf.$$

$$\forall s \exists s_i \exists fs(Ls?)Ls! \Rightarrow \exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow \exists fs_i(Ls_i?)Ls_i! \Rightarrow \exists Os_i = Os_i? \cup Os_i! \cup Os_if.$$

$$\forall s \exists s_j \exists fs(Ls?)Ls! \Rightarrow \exists us_j: (us_j = Ls_j? \cup Ls_j!) \Rightarrow \exists fs_j(Ls_j?)Ls_j! \Rightarrow \exists Os_j = Os_j? \cup Os_j! \cup Os_jf.$$

$$us_i \neq us_j \Rightarrow fs_i \neq fs_j \Rightarrow Os_i \neq Os_j \Rightarrow s_i \not\sim s_j.$$

Закон расхождения работоспособен только при условии выполнения принципа прогрессирующей механизации при разных функциональных запросах к  $s_i$  и  $s_j$ .

Учет данного принципа в процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода обеспечивается возможностью описания процесса адаптации системы к запросу надсистемы за счет изменения объектных характеристик.

**Закон опыта** (единообразное воздействие на некоторое множество элементов уменьшает разнообразие состояний этого множества). Используя упомянутые выше термины и обозначения данный принцип можно представить в виде следующих выражений:

$$\forall s_i \exists us_i: (us_i = Ls_i? \cup Ls_i!) \Rightarrow fs_i(Ls_i?)Ls_i! \Rightarrow Os_i = Os_i? \cup Os_i! \cup Os_if.$$

$$\forall s_j \exists us_j: (us_j = Ls_j? \cup Ls_j!) \Rightarrow fs_j(Ls_j?)Ls_j! \Rightarrow Os_j = Os_j? \cup Os_j! \cup Os_jf.$$

$$us_i \sim us_j \Rightarrow fs_i \sim fs_j \Rightarrow Os_i \sim Os_j$$

Закон расхождения работоспособен только при условии выполнения принципа прогрессирующей механизации в условиях подобных функциональных запросов к  $s_i$  и  $s_j$ .

Учет данного принципа в процессе графоаналитического моделирования средствами УФО-подхода обеспечивается возможностью описания процесса адаптации системы к запросу надсистемы за счет изменения объектных характеристик.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы и показаны возможности системно-объектного подхода (подхода «Узел-Функция-Объект») учитывать общесистемные закономерности в графоаналитических моделях организационно-деловых и производственно-технологических процессов.

Предложенный вариант формального описания общесистемных закономерностей дает возможность установить иерархическую зависимость закономерностей, связанных с субстанциальными характеристиками систем, от функциональных, а последних от структурных закономерностей, корнем которой является принцип коммуникативности. Наличие такой зависимости общесистемных закономерностей доказывает связь принципа организационной

непрерывности с принципом моноцентризма, который целесообразно рассматривать более широко, чем это было предложено А. Богдановым.

Полученные результаты показывают возможность и целесообразность построения формализованной системной теории на основе системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект».

Работа поддержана грантом РФФИ 18-07-00356а.

### Список литературы

1. Общая теория систем URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Общая\\_теория\\_систем](https://ru.wikipedia.org/wiki/Общая_теория_систем) (20.04.2018).
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528с.
3. Маторин С.И., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. Общесистемные принципы в терминах системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» // Труды ИСА РАН. – 2016. – №1. – Том 66. – С. 10-17.
4. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. Обоснование взаимосвязей общесистемных принципов и закономерностей с позиции системно-объектного подхода // Труды ИСА РАН. – 2017. – №3. – Том 67. – С. 54-63.
5. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. О системно-объектном методе представления организационных знаний // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. – 2013. – №8(151). – Выпуск №26/1. – С. 137-146.
6. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2015. – №4. – С. 95-103.
7. Abadi Martin and Luca Cardelli A. Theory of Objects. – Springer-Verlag. – 1996. – 397 p.
8. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Сов.радио, 1978. – 368 с.
9. Богданов А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука. Сост., предисловие и комментарии Г.Д. Гловели, послесловие В.В. Попкова. – М.: «Финансы», 2003. – 496с.
10. Маторин С.И., Соловьева Е.А. Детерминантная модель системы и системологический анализ принципов детерминизма и бесконечности мира // НТИ. Сер. 2. 1996. N8. С. 1-8.
11. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2017. – №3. – С. 95-106.

### References

1. Obshhaja teorija sistem [General theory of systems]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Общая\\_теория\\_систем](https://ru.wikipedia.org/wiki/Общая_теория_систем) (accessed April 20, 2018).
2. Prangishvili I.V. 2000. Sistemnyj podhod i obshhesistemnye zakonomernosti [System approach and system-wide regularities]. M.: SIN-TEG. 528.
3. Matorin S.I., Zimovec O.A., Zhikharev A.G. 2016. Obshhesistemnye principy v terminah sistemno-ob'ektnogo podhoda «Uzel-Funkcija-Ob'ekt» [System-wide principles in terms of the system-object approach "Node-Function-Object"]. Trudy ISA RAN [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences]. 1(66): 10-17.
4. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. 2017. Obosnovanie vzaimosvyazei obshchesistemnykh printsipov i zakonomernostei s pozitsii sistemno-ob'ektnogo podkhoda [Substantiation of the interrelationships of system-wide principles and regularities from the standpoint of a systematic, object-oriented approach]. Trudy ISA RAN [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences] 3(67): 54-63.
5. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smородina N.N. 2013. O sistemno-ob'ektnom metode predstavleniya organizatsionnykh znaniy [On the system-object method of representing organizational knowledge]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Informatika [Scientific bulletins of the Belgorod State University. Informatics series] 8(26): 137-146.
6. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zajceva N.O. 2015. Sistemno-ob'ektnyj instrumentarij dlja imitacionnogo modelirovanija tehnologicheskikh processov i transportnyh potokov [System-object tools for simulation modeling of

technological processes and transport flows]. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatие reshenij* [Artificial Intelligence and Decision Making] 4: 95-103.

7. Abadi Martin and Luca Cardelli A. *Theory of Objects*. – Springer-Verlag. – 1996. – 397p.

8. Mel'nikov G.P. 1978. *Sistemologiya i yazykovyye aspekty kibernetiki* [Systemology and language aspects of cybernetics]. M.: Sov. Radio. 368.

9. Bogdanov A.A. 2003. *Tektologiya: Vseobshhaya organizacionnaya nauka* [Tectology: General Organizational Science]. M.: «Finansy'». 496.

10. Matorin S.I., Solov'eva E.A. 1996. *Determinantnaya model' sistemy' i sistemologicheskij analiz principov determinizma i beskonechnosti mira* [The determinant model of the system and the systemological analysis of the principles of determinism and the infinity of the world]. *NTI. Ser. 2* [Scientific and technical information. Series 2]. 8: 1-8.

11. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. 2017. *Ischislenie ob'ektov v sistemno-ob'ektnom metode predstavleniya znaniy* [Objects calculus in the system-object method of knowledge representation]. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenii* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 3: 95-106.

**Маторин Сергей Игоревич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и технологий

**Жихарев Александр Геннадиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

**Белов Сергей Павлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации и технологии защиты информации

**Matorin Sergey Igorevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies

**Zhikharev Alexander Gennadievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotics Systems

**Belov Sergey Pavlovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization and Technology of Information Protection