

# Закономерности эволюции систем при изменении функциональных требований\*

С. И. МАТОРИН<sup>I</sup>, А. Г. ЖИХАРЕВ<sup>II</sup>

<sup>I</sup> ЗАО «СофтКоннект», г. Белгород, Россия

<sup>II</sup> Национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет», г. Белгород, Россия

**Аннотация.** В работе обсуждаются возможности анализа эволюции систем при изменении функциональных требований с помощью системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». Дано содержательное описание процессов адаптации и эволюции в терминах системно-объектного подхода. Для формального представления этих процессов применен аппарат исчисления объектов Аббади-Кардели. Показана связь процессов адаптации и эволюции систем с общесистемными закономерностями. Разработана схема алгоритма, описывающего эволюционирование системы, который учитывает данные закономерности. Сформулированы необходимые и достаточные условия эволюции системы.

**Ключевые слова:** системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», адаптация, эволюция, внешняя детерминанта; внутренняя детерминанта; общесистемные закономерности.

**DOI:** 10.14357/20790279200204

## Введение

Системный анализ объектов различной природы основан на известных диалектических принципах *целостности, системности, иерархичности* и *развития* [1]. Последний принцип требует учета *адаптации* и *эволюции* систем, что, в свою очередь, требует соблюдения определенных общесистемных закономерностей, соответствующих этим процессам. Анализ адаптации самонастраивающихся систем к функциональным требованиям с помощью системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» рассмотрен авторами в работах [2, 3]. В данной работе обсуждаются возможности использования этого подхода для анализа эволюции систем при изменении функциональных требований.

Существует различные эволюционные теории и подходы к изучению эволюции, причем некоторые из них противоречат друг другу [4]. Так, одно из значений понятия «эволюция», предлагаемое в Википедии, звучит так: «Эволюция (от лат. *Evolutio* – развёртывание) – процесс не онтогенетического развития, одноуровневой качественной трансформации и/или деградации, процесс струк-

турного изменения чего-то от одного состояния к другому». Процессы эволюции первоначально изучались в биологии. При этом под биологической эволюцией понимался естественный процесс развития живой природы, сопровождающийся изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, видообразованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом. В общей теории систем Урманцева эволюция трактуется как процесс постепенных необратимых изменений системы во времени, а система считается эволюционирующей, если она постепенно (постоянно) и необратимо изменяется [5, 6]. В синергетике развитие любых систем рассматривается как результат их взаимодействия со средой [7].

Однако многие эволюционные теории, как правило, не учитывают известные общесистемные закономерности, что снижает их объяснительные и прогностические возможности. Поэтому целесообразно провести совместный анализ процессов адаптации и эволюции систем при изменении функциональных требований средствами системного подхода, в частности системно-объектного подхода, инструментарий которого позволяет полностью учесть общесистемные закономерности [8, 9].

\* Работа поддержана проектами РФФИ 18-07-00355а, 19-07-00290а, 19-07-00111а, 19-29-01047мк.

## 1. Системно-объектный подход к процессам адаптации и эволюции

В системно-объектном подходе *система* рассматривается как функциональный объект, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса (т.е. функцией надсистемы), что в целом соответствует пониманию системы, данному в работе [10]. Подобное содержательное определение системы уточнено авторами путем представления системы в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект», в которой *узел* – перекресток входных и выходных связей/потоков системы, *функция* – процесс преобразования входных потоков в выходные, *объект* – совокупность субстанциальных характеристик системы [3]. Такое представление системы позволяет, в свою очередь, используя исчисление объектов Абади-Кардели [11], считать систему  $s = [us; fs; Os]$  специальным объектом данного исчисления, состоящим из полей и методов, который будем называть *узловым объектом* [12].

Здесь узел системы  $us \leftrightarrow Ls? \cup Ls!$  формально представляет собой поля узлового объекта для описания объектов еще одного специального вида, называемых нами *потоковыми объектами*, которые соответствуют множеству функциональных связей данной системы;  $Ls?$  – множество входящих интерфейсных потоковых объектов, которые соответствуют входящим связям системы  $s$ ;  $Ls!$  – множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, которые соответствуют исходящим связям системы  $s$ ;  $Ls? \subset L$  и  $Ls! \subset L$  относятся к множеству всех связей  $L$  (потоковых объектов).

Функция системы  $fs: Ls? \rightarrow Ls!$  формально представляет собою метод узлового объекта, т.е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы)  $Ls?$  в исходящие интерфейсные потоковые объекты (исходящие связи системы)  $Ls!$ .

Объект системы  $Os = Os? \cup Os! \cup Osf$  формально представляет собой множество полей узлового объекта для описания объектных (субстанциальных) характеристик системы. Множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств:  $Os?$  – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики узлового объекта (т.е. показатели входных связей системы),  $Os!$  – множество полей, которое содержит интерфейсные выходные характеристики узлового объекта (т.е. показатели выходных связей системы  $s$ ),  $Osf$  – множество полей, которое содержит передаточные характеристики узлового объекта (показатели внутренних связей системы).

В рамках системно-объектного подхода используется также понятие *адаптации* системы к запросу надсистемы, обозначающее процесс приближения внутренней детерминанты системы к ее внешней детерминанте. Внешняя детерминанта системы (функциональный запрос надсистемы, реализуемый узлом  $us$ ) представляет собой требуемую функцию системы, обусловленную функцией надсистемы, а внутренняя детерминанта системы  $fs$  – ее фактическое функционирование, которое определяет функции подсистем (частные функции системы) и их взаимосвязи, т.е. внутренние структурные, функциональные и субстанциальные характеристики системы. Внутренняя детерминанта системы может быть текущей, что соответствует функционированию системы в процессе адаптации, и предельной, которая теоретически соответствует внешней детерминанте.

Функциональный запрос надсистемы (реализуемый узлом  $us$ ) задает для формирующейся системы область требуемых функциональных состояний (ОТФС) в виде планирующихся связей с системами, окружающими формирующуюся. В соответствии с внешней детерминантой системы из резерва (набора систем) выбирается исходная система (как исходный материал), имеющая область возможных состояний (ОВС), которая характеризует предрасположенность исходной системы к выполнению требуемых надсистемой функций. Когда исходная система занимает вакантный узел надсистемы, она начинает функционировать в соответствии с запросом и превращается в систему как субстанцию надсистемы. Это и определяет процесс формирования (т.е. адаптации) системы с заданными функциональными свойствами для поддержания функционирования надсистемы [10].

До начала адаптации должна быть обеспечена определенная избыточность свойств исходной системы (исходного материала). Иными словами, область возможных состояний исходной системы должна иметь размер, достаточный для включения (в теоретико-множественном смысле) в нее области требуемых функциональных состояний вакантного узла, т.е.  $OVC > OTFC$ . В ходе адаптации системы уменьшается избыточность ее свойств, все сильнее проявляются свойства, существенные для надсистемы. Система из исходного материала, потенциально пригодного для выполнения заданной функции, превращается во все более совершенную субстанцию надсистемы, все более соответствующую запросу. В результате система адаптируется к функциональному узлу надсистемы.

Система, область возможных состояний которой после адаптации к запросу надсистемы

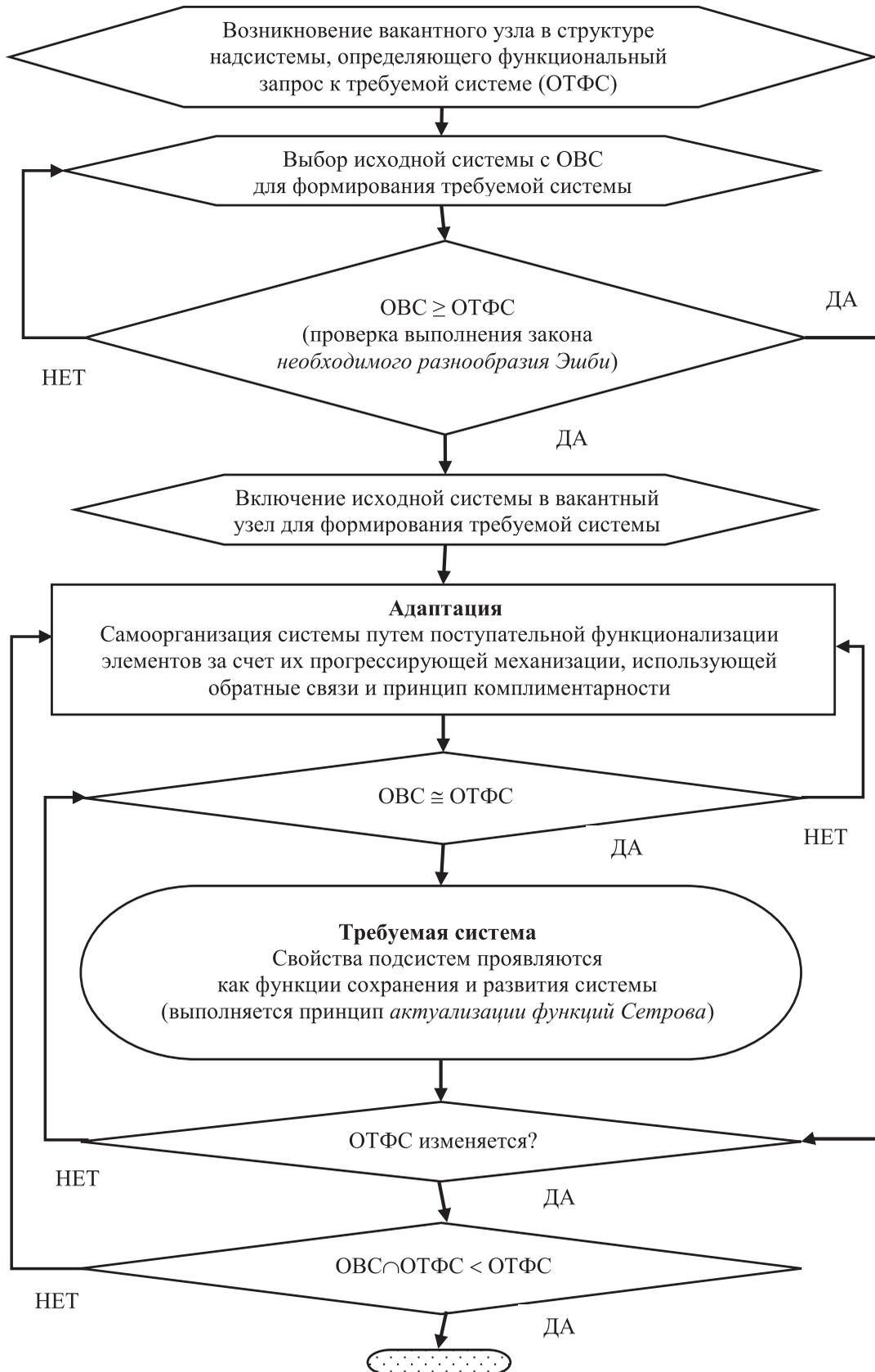


Рис. Схема алгоритма эволюционного процесса.

максимально близка к области требуемых функциональных состояний, называется *оптимально адаптированной* или *совершенной* [10]. Такие системы представляют собой четко сформированные, ярко проявляющиеся, вполне устойчивые явления определенной сущности, мера системности  $M_s = \text{ОТФС}/\text{ОВС}$  которых близка к 1.

*Эволюцией* в рамках системно-объектного подхода называется процесс перестройки системы, процесс ее подстройки к изменяющимся условиям функционирования для восстановления снижающейся эффективности системы при изменении того или иного параметра внешней детерминанты. Таким образом, эволюция системы представляет собой, по сути дела, ту же адаптацию, происходящую при изменении ОТФС. Такое определение понятия эволюции соответствует пониманию этого процесса в работе [13]. Предложенные определения процессов адаптации и эволюции с позиций системно-объектного подхода позволяют построить следующий формальный алгоритм (рисунок).

## 2. Анализ эволюции при изменении функциональных требований

Эволюционный процесс начинается с возникновения функционального запроса надсистемы на систему с определенной функцией, который определяет ОТФС новой системы. Наличие функционального запроса приводит к поиску и выбору исходной системы (как исходного материала) с ОВС, для которой осуществляется проверка выполнения *закона необходимого разнообразия Эшби*. Согласно этому закону, для создания системы, способной справиться с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием, необходимо обеспечить, чтобы система имела большее разнообразие возможностей, чем разнообразие решаемой проблемы [14]. Таким образом, если для исходной системы  $\text{ОВС} \geq \text{ОТФС}$ , то она занимает вакантный узел надсистемы, определяющий функциональный запрос.

После начала функционирования исходной системы в ранее вакантном узле надсистемы начинается собственно процесс адаптации этой системы к функциональному запросу. И, в первую очередь, здесь действует *принцип самоорганизации*, обеспечивающий процесс поступательной функционализации элементов системы [15]. Эта общесистемная закономерность обуславливает распространение требований внешней детерминанты заданной системы на все более глубокие уровни в иерархии подсистем исходного материала. Используя введенные выше обозначения, проявление данного принципа

на начальном этапе адаптации можно представить в виде следующего выражения:

$$\begin{aligned} \mathbf{us}_i \leftrightarrow (\mathbf{Ls}_i? \cup \mathbf{Ls}_i!) &\leftrightarrow \mathbf{fs}_i(\mathbf{Ls}_i?)\mathbf{Ls}_i! (\mathbf{fs}_i: \mathbf{Ls}_i? \rightarrow \mathbf{Ls}_i!) \\ &\Rightarrow \mathbf{s}_j: \mathbf{fs}_j(\mathbf{Ls}_j?)\mathbf{Ls}_j! (\mathbf{fs}_j: (\mathbf{Ls}_j? \supset \mathbf{Ls}_i?) \rightarrow \\ &(\mathbf{Ls}_j! \supset \mathbf{Ls}_i!)) \Rightarrow ((\mathbf{us}_j^{\text{in}}, \dots, \mathbf{us}_j^{\text{out}}) \in \mathbf{us}_j) \Rightarrow \\ &(\mathbf{fs}_j^{\text{in}}(\mathbf{Ls}_j^{\text{in}}?)\mathbf{Ls}_j^{\text{in}}!, \dots, \mathbf{fs}_j^{\text{out}}(\mathbf{Ls}_j^{\text{out}}?)\mathbf{Ls}_j^{\text{out}}!): \\ &\exists \mathbf{fs}_{\text{тек}}(\mathbf{Ls}_{\text{тек}}?)\mathbf{Ls}_{\text{тек}}!: (\mathbf{Ls}_j? \supset \mathbf{Ls}_{\text{тек}}? \supset \mathbf{Ls}_i? \wedge \\ &\mathbf{Ls}_j! \supset \mathbf{Ls}_{\text{тек}}! \supset \mathbf{Ls}_i!) \end{aligned}$$

Данное выражение показывает, что исходная система  $s_j$ , занимая вакантный узел  $\mathbf{us}_i$  (как следствие функционального запроса  $\mathbf{us}_i$ ), своим фактическим функционированием  $\mathbf{fs}_j: (\mathbf{Ls}_j? \supset \mathbf{Ls}_i?) \rightarrow (\mathbf{Ls}_j! \supset \mathbf{Ls}_i!)$  в ранее вакантном узле надсистемы определяет функциональные требования к своим подсистемам в виде внутренних узлов  $\mathbf{us}_j^{\text{in}}, \dots, \mathbf{us}_j^{\text{out}}$  (для краткости указаны только интерфейсные узлы, обеспечивающие функциональные связи системы  $s_j$ ). Эти внутренние узлы, являясь частями узла  $\mathbf{us}_i$ , определяют функциональность подсистем системы  $s_j$ , которые обеспечивают выполнение исходной системой текущей функции  $\mathbf{fs}_{\text{тек}}(\mathbf{Ls}_{\text{тек}}?)\mathbf{Ls}_{\text{тек}}!$ , которая занимает промежуточное положение между функцией (исходной системы  $s_j$ ) и требуемой функцией заданной системы  $s_i$ . Указанный процесс продолжается и на уровне подсистем этих подсистем и т.д.

Очевидно, что в процессе адаптации наряду с принципом самоорганизации, который не задает определенного механизма приближения функционирования исходной системы к требованиям функционального запроса, действует *принцип прогрессирующей механизации Бергаланфи*. В соответствии с этим принципом, части системы в ходе ее развития специализируются или становятся фиксированными по отношению к определенным функциям или механизмам [16]. Эта общесистемная закономерность обуславливает механизм постепенного приближения в процессе адаптации фактического функционирования исходной системы к задаваемой внешней детерминантой функции требуемой системы. Используя введенные выше обозначения, выполнение данного принципа при адаптации систем можно представить в виде следующего выражения:

$$\begin{aligned} \mathbf{us}_i \leftrightarrow (\mathbf{Ls}_i? \cup \mathbf{Ls}_i!) &\Rightarrow \mathbf{s}_j: \mathbf{fs}_j(\mathbf{Ls}_j?)\mathbf{Ls}_j! (\mathbf{fs}_j: \mathbf{Ls}_j? \rightarrow \\ &\mathbf{Ls}_j!) \Rightarrow (\mathbf{us}_j^{\text{in}}, \dots, \mathbf{us}_j^{\text{out}}) \Rightarrow (\mathbf{fs}_{\text{тек}}^{\text{in}}(\mathbf{Ls}_{\text{тек}}^{\text{in}}?)\mathbf{Ls}_{\text{тек}}^{\text{in}}! \\ &\rightsquigarrow \mathbf{fs}_i^{\text{in}}(\mathbf{Ls}_i^{\text{in}}?)\mathbf{Ls}_i^{\text{in}}!, \dots, \mathbf{fs}_{\text{тек}}^{\text{out}}(\mathbf{Ls}_{\text{тек}}^{\text{out}}?)\mathbf{Ls}_{\text{тек}}^{\text{out}}! \rightsquigarrow \\ &\mathbf{fs}_i^{\text{out}}(\mathbf{Ls}_i^{\text{out}}?)\mathbf{Ls}_i^{\text{out}}!) \Rightarrow \\ &(\mathbf{us}_j^{\text{in}} \rightsquigarrow \mathbf{us}_j^{\text{in}}, \dots, \mathbf{us}_j^{\text{out}} \rightsquigarrow \mathbf{us}_j^{\text{out}}) \Rightarrow \exists \mathbf{fs}_{\text{тек}}(\mathbf{Ls}_{\text{тек}}?) \\ &\mathbf{Ls}_{\text{тек}}! \rightsquigarrow \mathbf{fs}_i(\mathbf{Ls}_i?)\mathbf{Ls}_i! (\mathbf{fs}_i: \mathbf{Ls}_i? \rightarrow \mathbf{Ls}_i!) \end{aligned}$$

Это выражение показывает, что фактическое функционирование системы  $s_j$  в соответствии с

внешней детерминантой  $us_j$ , т.е. преобразование  $fs_j(Ls_i?)Ls_i!$  ( $fs_j: Ls_i? \rightarrow Ls_i!$ ) требуемых потоков, а не потоков, на которые рассчитан исходная материал, приводит к изменению требований к внутренним узлам ( $us_j^{in}, \dots, us_j^{out}$ ) системы  $s_j$ . В результате текущее функционирование внутренних узлов, стремящееся к требуемому  $fs_{тек}^{in}(Ls_{тек}^{in?})Ls_{тек}^{in!} \rightsquigarrow fs_j^{in}(Ls_i^{in?})Ls_i^{in!}, \dots, fs_j^{out}(Ls_i^{out?})Ls_i^{out!} \rightsquigarrow fs_j^{out}(Ls_i^{out?})Ls_i^{out!}$ , приводит к подстройке этих узлов к требуемым узлам ( $us_j^{in} \rightsquigarrow us_j^{in}, \dots, us_j^{out} \rightsquigarrow us_j^{out}$ ), что обеспечивает постепенное приближение общей функции исходной системы  $s_j$  к требуемой внешней детерминантой  $us_j$  функции  $fs_{тек}(Ls_{тек}?)Ls_{тек}!$   $\rightsquigarrow fs_j(Ls_i?)Ls_i!$  ( $fs_j: Ls_i? \rightarrow Ls_i!$ ).

Принцип прогрессирующей механизации обуславливает постепенное приближение в процессе адаптации фактического функционирования исходной системы к функции требуемой системы, задаваемой внешней детерминантой, в соответствии с *принципом комплиментарности Богданова* (устойчивость системы достигается взаимно-дополнительными связями между её элементами в виде замкнутых контуров обратных связей [17]), который, в свою очередь, использует *принцип обратной связи Эшби* (устойчивость в сложных динамических системах достигается за счёт замыкания петель обратных связей [14]). Данное обстоятельство свидетельствует, что адаптация, в конце концов, должна приводить к поддержанию со стороны подсистем формируемой системы не тех функциональных связей/потоков  $Ls_i?$  и  $Ls_i!$ , на которые была рассчитана исходная система  $s_j$ , а новых связей/потоков  $Ls_i?$  и  $Ls_i!$ , задаваемых узлом  $us_j$ . Следовательно, в системе  $s_j$  должен существовать следящий механизм, который позволяет установить момент, когда связи/потоки исходной системы становятся связями/потоками требуемой системы  $s_j$ . Такой механизм реализуется в соответствии с упомянутыми выше принципами.

Процесс эволюции обеспечивается с момента обнаружения исходного материала, у которого  $OBC \geq OTFC$ , т.е. с этапа проверки выполнения закона необходимого разнообразия. Параллельно с процессами, описанными выше, осуществляется проверка изменения ОТФС. Если ОТФС не изменяется, то проверяется результат адаптации, т.е. достигнутая степень соответствия  $OBC \cong OTFC$  или степень приближения меры системности  $M_s$  к 1. Если соответствия нет, то процесс адаптации продолжается до возникновения этого соответствия.

В результате адаптации исходной системы к запросу надсистемы возникает система с заданной функцией, для которой выполняется *принцип*

*актуализации функций Сетрова*, утверждающий, что объект выступает как организованный лишь в том случае, если свойства его частей (элементов) проявляются как функции сохранения и развития этого объекта [18]. Эта общесистемная закономерность характеризует систему, у которой область возможных состояний в результате адаптации к запросу надсистемы не просто покрывает, а максимально близка к области требуемых функциональных состояний. Такая система называется оптимально адаптированной или совершенной. Используя введенные выше обозначения, проявление данного принципа у оптимально адаптированной системы можно представить в виде следующего выражения:

$$\forall s_j = [(Ls_i?, Ls_i!) \leftrightarrow us_j; fs_j(Ls_i?)Ls_i! (fs_j: Ls_i? \rightarrow Ls_i!); (Os_i?, Os_i!, Os_i f)] \exists ((us_j^{in}, \dots, us_j^{out}): (us_j^{in} \leftrightarrow s_j^{in} = [(Ls_i^{in?}, Ls_i^{in!}); fs_j^{in}(Ls_i^{in?})Ls_i^{in!}; (Os_i^{in?}, Os_i^{in!}, Os_i^{in} f)], \dots, us_j^{out} \leftrightarrow s_j^{out} = [(Ls_i^{out?}, Ls_i^{out!}); fs_j^{out}(Ls_i^{out?})Ls_i^{out!}; (Os_i^{out?}, Os_i^{out!}, Os_i^{out} f)]) \in s_j; [(us_j^{in}, \dots, us_j^{out}) \in us_j]; (fs_j^{in}(Ls_i^{in?})Ls_i^{in!}, \dots, fs_j^{out}(Ls_i^{out?})Ls_i^{out!}) \Rightarrow fs_j(Ls_i?)Ls_i! (fs_j: Ls_i? \rightarrow Ls_i!); (Os_i? = Os_i^{in?}, Os_i! = Os_i^{out!}, (Os_i^{in} f, \dots, Os_i^{out} f) \in Os_i f]$$

Это выражение показывает, что любая адаптированная и хорошо организованная система  $s_j$  имеет в своем составе подсистемы  $s_j^{in}, \dots, s_j^{out}$ , которые в совокупности обеспечивают функционирование системы  $s_j$ .

Достижение даже высокого уровня адаптированности системы не прерывает процесса эволюции. Для требуемой системы также выполняется проверка изменения ОТФС. Если изменений нет и  $M_s \neq 1$ , адаптация продолжается. Если изменения есть, то проверяется возможность дальнейшей адаптации к изменяющемуся запросу. Если изменяющаяся ОТФС не вышла за границы ОВС, то адаптация продолжается (может продолжаться). Если требования надсистемы вышли за границу возможностей, процессы адаптации и эволюции заканчиваются.

### 3. Свойства процесса эволюции

Приведенное алгоритмическое описание эволюционного процесса позволяет установить некоторые его свойства.

Во-первых, целесообразно сформулировать необходимые и достаточные условия эволюции, рассматриваемой в рамках системно-объектного подхода. В качестве *необходимого условия эволюции* предлагается рассматривать изменение функционального запроса к системе со стороны надсистемы (внешней детерминанты, ОТФС). В

качестве *достаточного условия эволюции* – изменение области требуемых функциональных состояний системы в пределах области ее возможных состояний (ОВС > ОТФС) за все время изменения внешней детерминанты. Таким образом, эволюция возможна только при выполнении двух названных условий. Если требования не меняются или требования выходят за пределы возможностей, то эволюция не происходит.

Хорошим примером может служить эволюционный процесс при переходе от палеолита к неолиту во времена неолитической революции, в результате которой палеоантропы сменились неантропами из-за изменений требований к способу ведения хозяйства [3]. Потребовалось заменить непроизводящее хозяйство производящим, которое не входило в ОВС палеоантропов, и они вымерли. Неантропы же оказались подходящим исходным материалом для формирования системы, пригодной к ведению производящего хозяйства.

Во-вторых, очевидно, что ОТФС некоторой системы соответствует определенному классу систем. Изменение ОТФС при достаточном размере ОВС может привести к переходу эволюционирующей системы из одного подкласса (данного класса) в другой класс или даже к дивергенции класса на подклассы (т.е. к формированию новых подклассов).

Примером может служить появление новых видов мебели или устранение некоторых устаревших видов. Например, появление нового вида шкафов – «шкаф-купе» – при изменении требований к шкафам, как системам хранения, привело к дивергенции класса «шкаф». При этом вид мебели «сундук» не эволюционировал и в настоящее время не используется, так как современные требования к системам хранения выходят за рамки ОВС данного вида мебели.

В-третьих, чем ближе к 1 мера системности  $M_s$  системы, тем меньше возможности для эволюции такой системы. Таким образом, оптимально адаптированная к требованиям надсистемы или совершенная система не может эволюционировать. Конечно систем с  $M_s = 1$  в реальной действительности не существует, но можно привести примеры систем, в значительной степени удовлетворяющей предъявляемым требованиям.

Например, зачастую можно наблюдать ситуации, когда люди не меняют вроде бы устаревшую технику на новую, и не потому что жалко денег, а потому что эта техника очень хорошо соответствует их требованиям.

И последнее. Абстрактные термины «область требуемых функциональных состояний» (ОТФС) и «область возможное состояние» (ОВС) могут быть

уточнены за счет использования представления системы в виде конструкции «Узел-Функция-Объект», так как в работе [10] понятие «состояние» не определено.

Узел **us** системы **s** задает ее внешнюю детерминанту, а также область определения  $Dfs = Ls?$  и область значений  $Efs = Ls!$  функции **fs** системы **s**. Конкретные характеристики преобразования/отображения  $fs: Ls? \rightarrow Ls!$  как предельной внутренней детерминанты системы **s** определяются объективными (субстанциальными) свойствами **Os** системы **s**, задающими конкретные параметры входных потоков  $Os?$ , параметры внутренних связей  $Os!$ , обеспечивающих выполнение процесса **fs**, и параметры выходных потоков  $Os!$ . Следовательно, приближение текущей внутренней детерминанты (текущего функционирования)  $fs_{тек}$  к предельной внутренней детерминанте **fs** обусловлено соответствующим изменением  $Os = Os? \cup Os! \cup Osf$ , т.е.  $fs_{тек} = \varphi(Os(t))$ . Таким образом, процесс, адаптации и эволюции в рамках системно-объектного подхода следует рассматривать в целом как процесс изменения объектных характеристик системы, приводящий текущую внутреннюю детерминанту  $fs_{тек}$  в соответствие с  $fs \leftrightarrow us$ . Поэтому целесообразно считать, что эволюция возможна, если *область возможных характеристик* (ОВХ) системы больше *области требуемых характеристик* (ОТХ) системы за все время изменения последней, что уточняет понимание терминов возможное и требуемое состояние.

## Заключение

Проведенный анализ показывает, что процесс эволюции системы можно конструктивно описать средствами системно-объектного подхода. Описание процесса эволюции с помощью системно-объектного подхода позволяет уточнить ряд свойств и сформулировать необходимые и достаточные условия эволюции систем. Построенный алгоритм процесса эволюции уточняет системное понимание данного процесса и подтверждает тот факт, что механизмы эволюции основаны на общесистемных закономерностях. Учет этих закономерностей при рассмотрении эволюции систем представляется и теоретически, и практически полезным, так как повышает объяснительные и прогностические возможности эволюционных теорий.

## Литература

1. Гвишиани Д.М. Материалистическая диалектика – философия основы системных исследо-

- ваний // Системные исследования: Ежегодник, 1979. – М.: Наука, 1980. – С. 7-28.
2. Маторин С. И., Жихарев А. Г. Закономерности адаптации систем к функциональным требованиям // Труды ИСА РАН. – 2020. – Том 70. – №1. – С. 40-48.
  3. Теория систем и системный анализ: учебник / С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец и др.; под ред. С.И. Маторина. – Москва; Берлин: Директмедиа Паблишинг, 2020. – 509 с.: Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574641> (Текст: электронный дата обращения: 12.03.2020).
  4. Тарасов Е.К. Случайна ли эволюция? Режим доступа: – URL: [http://www.integro.ru/system/ots/evolution/ev\\_books/sluch\\_li\\_ev/sluch\\_li\\_ev.htm](http://www.integro.ru/system/ots/evolution/ev_books/sluch_li_ev/sluch_li_ev.htm)
  5. Эволюция. Режим доступа: – URL: <http://self-organization.ru/evolution.html>.
  6. Урманцев Ю.А. Эволюционика. Режим доступа: – URL: [http://self-organization.ru/books/OTSU\\_Evol.doc](http://self-organization.ru/books/OTSU_Evol.doc)
  7. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. - М.: Мир, 1985. – 424с.
  8. 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.
  9. Маторин С.И., Жихарев А.Г. Учет общесистемных закономерностей при системно-объектном моделировании организационных знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2018 – №3 – С. 115-126.
  10. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Сов.радио, 1978. – 368 с.
  11. Abadi Martin and Luca Cardelli. A Theory of Objects. – New York: Springer-Verlag. – 1996. – 397 p.
  12. 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.
  13. Мельников Г.П. Разработка подсистемы лингвистического обеспечения АИС документально-факто-графического типа в области материаловедения / Отчет о НИР, № рег. 01.86.0103243, СКТБ ИС ИПМ АН УССР, 1986.
  14. Эшби Р.У. Введение в кибернетику: пер. с англ. / под. ред. В. А. Успенского. Предисл. А. Н. Колмогорова. Изд. 2-е, стереотипное. – М.: КомКнига, 2005. – 432 с.
  15. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем В 2 кн. -М.: Мир, 1981. – 1420 с.
  16. Бертуланфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор. В кн.: Исследования по общей теории систем. Сборник переводов. - М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.
  17. Богданов А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука. Сост., предисловие и комментарии Г.Д. Гловели, послесловие В.В. Попкова. – М.: Финансы, 2003. – 496 с.
  18. Сетров М.И. Степень и высота организации систем. В кн.: Системные исследования. Ежегодник. – М.: Наука, 1969. – С. 156 - 167.

**Маторин Сергей Игоревич.** Заместитель генерального директора по науке и инновациям ЗАО «Софт-Коннект», г. Белгород, ул. Студенческая, д.19, кор.1. Доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: более 200, в т.ч. 5 монографий. Область научных интересов: системный подход, теория систем, системный анализ, CASE-технология, управление знаниями, бизнес-моделирование. E-mail: [matorin@softconnect.ru](mailto:matorin@softconnect.ru)

**Жихарев Александр Геннадиевич.** Доцент кафедры информационных систем Национального исследовательского университета «Белгородский государственный университет», г. Белгород, ул. Победы, д.85. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 90. Область научных интересов: системный анализ, управление знаниями, бизнес-моделирование, CASE-технология. E-mail: [zhikharev@bsu.edu.ru](mailto:zhikharev@bsu.edu.ru)

## Patterns of evolution of systems when changing functional requirements

S.I. Matorin<sup>I</sup>, A.G. Zhikharev<sup>II</sup>

<sup>I</sup> CJSC “SoftConnect”, Belgorod, Russia

<sup>II</sup> National Research University “Belgorod State University”, Belgorod, Russia

**Abstract.** The paper discusses the possibilities of analyzing the evolution of systems when changing functional requirements using the system-object approach “Unit-Function-Object”. A meaningful description of the processes of adaptation and evolution in terms of a system-object approach is given. For a formal representation of these processes, the apparatus for calculating the objects of Abadi-Kardeli was used. The connection between the processes of adaptation and evolution of systems with system-wide laws is shown. A scheme of an algorithm describing the evolution of a system that takes into account these patterns has been developed. The necessary and sufficient conditions for the evolution of the system are formulated.

**Key words:** *system-object approach “Node-Function-Object”, adaptation, evolution, external determinant; inner determinant; system-wide patterns.*

DOI: 10.14357/20790279200204

### References

1. *Gvishiani D.M.* 1980. Materialisticheskaya dialektika – filosofiya osnovy sistemnyh issledovaniy [Materialist dialectics - the philosophy of the foundation of systemic research]. *Sistemnye issledovaniya: Ezhegodnik* [Systems Research: Yearbook, 1979]. M.: Nauka. 7-28.
2. *Matorin S.I., Zhikharev A.G.* 2020. Zakonomernosti adaptatsii sistem k funktsional'nym trebovaniyam [Patterns of adapting systems to functional requirements]. *Trudy ISA RAN* [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences]. 1(70): 40-48.
3. *Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovec O.A. i dr.* 2020. Teoriya sistem i sistemnyy analiz [Systems theory and systems analysis]. Moskva; Berlin: Direktmedia Publishing. 509. Available at: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574641>. (accessed March 12, 2020).
4. *Tarasov E.K.* Sluchajna li evolyuciya? [Is evolution random?]. Available at: [http://www.integro.ru/system/ots/evolution/ev\\_books/sluch\\_li\\_ev/sluch\\_li\\_ev.htm](http://www.integro.ru/system/ots/evolution/ev_books/sluch_li_ev/sluch_li_ev.htm). (accessed March 12, 2020).
5. Evolyutsiya. [Evolution]. Available at: <http://self-organization.ru/evolution.html>. (accessed March 12, 2020).
6. *Urmantsev Yu.A.* Evolyutsionika. [Evolutionary] Available at: [http://self-organization.ru/books/OTSU\\_Evol.doc](http://self-organization.ru/books/OTSU_Evol.doc). (accessed March 12, 2020).
7. *Haken G.* 1985. Sinergetika: ierarhiineustojchivostej v samoorganizuyushchih sistemah i ustroystvah [Synergetics: hierarchies of instabilities in self-organizing systems and devices]. M.: Mir. 424.
8. *Matorin S.I., Zimovec O.A., Zhikharev A.G.* 2016. Obshchesistemnye principy v terminah sistemno-ob'ektnogo podhoda «Uzel-Funkciya-Ob'ekt» [System-wide principles in terms of the system-object approach “Unit-Function-Object”]. *Trudy ISA RAN*. [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences]. 1(66): 10-17.
9. *Matorin S.I., Zhikharev A.G.* 2018. Uchet obshchesistemnyh zakonomernostej pri sistemno-ob'ektnom modelirovanii organizatsionnyh znaniy [Accounting for system-wide laws in system-object modeling of organizational knowledge]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie reshenij* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 3: 115-126.
10. *Mel'nikov G.P.* 1978. Sistemologiya i yazykovyye aspekty kibernetiki [Systemology and language aspects of cybernetics]. M.: Sov. Radio. 368.
11. *Abadi Martin and Luca Cardelli.* A Theory of Objects. – New York: Springer-Verlag. – 1996. – 397p.
12. *Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zajceva N.O.* 2015. Sistemno-ob'ektnyy instrumentariy dlja imitacionnogo modelirovaniya tehnologicheskikh processov i transportnyh potokov [System-object tools for simulation of technological processes and traffic flows]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie reshenij* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 4: 95-103.
13. *Mel'nikov G.P.* 1986. Razrabotka podsistemy lingvisticheskogo obespecheniya AIS dokumental'no-fakto-graficheskogo tipa v oblasti materialovedeniya [Development of a subsystem of linguistic support for AIS of documentary factual-graphic type in the field of materials science]. *Otchet o NIR, № reg. 01.86.0103243, SKTB IS IPM AN USSR* [Research Report, No. reg. 01.86.0103243, SKTB IS IPM Academy of Sciences of the Ukrainian SSR].
14. *Eshbi R.U.* 2005. Vvedenie v kibernetiku: per. s angl. / pod. red. V. A. Uspenskogo. Predisl. A.N. Kolmogorova. Izd. 2-e, stereotipnoe [Introduction

- to Cybernetics: Per. from English / under. ed. V. A. Uspensky. Foreword A.N. Kolmogorova. Ed. 2nd, stereotyped]. M.: KomKniga. 432.
15. *Gig Dzh. van.* 1981. Prikladnaya obshhaya teoriya sistem V 2 kn. [Applied General System Theory]. M.: Mir. 1420.
  16. *Bertalanfi L. fon.* 1969. Obshhaya teoriya sistem: kriticheskiy obzor [General System Theory – A Critical Review]. V kn.: Issledovaniya po obshhey teorii sistem. Sbornik perevodov [Research on the general theory of systems. Collection of translations.]. M.: Progress: 23-82.
  17. *Bogdanov A.A.* 2003. Tektologiya: Vseobshhaya organizacionnaya nauka. Sost., predislovie i kommentarii G.D. Gloveli, posleslovie V.V. Popkova [Tectology: General Organizational Science. Comp., Foreword and comments by G.D. Glovely, afterword by V.V. Popkova]. M.: Finansy. 496.
  18. *Setrov M.I.* 1969. Stepen' i vy'sota organizacii sistem [The degree and height of the organization of systems]. V kn.: Sistemny'e issledovaniya. Ezhegodnik [Systemic research. Yearbook.]. M.: Nauka: 156 - 167

**Matorin Sergey Igorevich.** Deputy General Director for Science and Innovations, “SoftConnect” CJSC, Belgorod, Studencheskaya Street, 19, building 1. Doctor of Technical Sciences, Professor. Number of publications: more than 200 including 5 monographs. Areas of scientific interests: system approach, system theory, system analysis, CASE-technology, knowledge management, business modeling.

**Zhikharev Alexander Gennadievich.** Associate Professor, Department of Information Systems, National Research University “Belgorod State University”, Belgorod, Victory Street, 85. Candidate of Technical Sciences. Number of publications: 90. Areas of scientific interests: systems analysis, knowledge management, business modeling, CASE-technology.