

УДК 519.816

*Снитюк В.Е.*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, snytyuk@gmail.com, Украина*

## Эволюционное моделирование и программирование жизненного цикла технических систем в детерминированных условиях

Задача программирования жизненного цикла сложных технических систем является трудно формализуемой и поэтому для ее решения необходимо использовать методы, относящиеся к предметной области искусственного интеллекта. В статье изложены аспекты композиции эволюционного моделирования и теории программирования жизненных циклов. Актуальность и рациональность такого объединения базируется на необходимости предвидения будущих процессов и следовании законам природы, а также использовании элементарного, системного эволюционизма и синергетики.

### Введение

Функционирование сложных технических систем (ТС) происходит в динамически изменяющихся условиях как объективной, так и субъективной природы. Обеспечение максимальной или приемлемой эффективности составляет определенную проблему, поскольку этап использования ТС имеет временной лаг с начальными этапами жизненного цикла (исследования и проектирования), т.е.

$$E_w(t_k) = F(E_s(t_{k-3}), E_d(t_{k-2}), E_v(t_{k-1})),$$

где  $E_w(*)$  – эффективность процесса функционирования,  $E_s(*)$  – эффективность этапа научных исследований,  $E_d(*)$  – эффективность проектирования,  $E_v(*)$  – эффективность этапа создания (изготовления) ТС.

Решая задачу

$$E_w(t_k) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $t_0$  – начало функционирования ТС,  $k \in \{0, 1, 2, \dots\}$ , отметим возрастающую роль прогнозирования или, точнее, технического предвидения [1], поскольку уже на начальных этапах необходима информация, которая могла бы быть получена на более поздних временных интервалах. Будем считать, что происходит переход  $t_k \rightarrow t_{k+1}$ , если:

- изменяются внешние условия;
- изменяется управление ТС;
- изменяется структура ТС.

Таким образом, решение задачи (1) представляет собой эволюционный процесс решения последовательности задач оптимизации. И поскольку он происходит в условиях неопределенности с двумя релевантными факторами:

- неизвестны или неполностью известны исходные данные, ограничения, модели, методы, критерии оценки проектных решений;
- неизвестны моменты переходов  $t_k \rightarrow t_{k+1}$ ,

то возрастает роль моделирования как процесса уменьшения энтропии и инструментария процессов поддержки принятия решения.

## Основные определения и постановка задачи

Предваряя постановку задачи, приведем основные определения [1-6], используемые в дальнейшем изложении:

Сложной технической системой можно назвать некий объект, который состоит из большого числа элементов, имеет многообразие пространственных и функциональных форм существования и взаимодействия как внутри себя, так и с внешней средой.

Под качеством ТС будем понимать показатель, выражаемый через ее внешние параметры и характеризующий степень соответствия ТС, находящейся в некотором состоянии, своему назначению. Тогда эффективность является средней оценкой качества ТС, его математическим ожиданием, определенным на пространстве ее состояний. Численная оценка эффективности называется критерием эффективности.

Парадигма – совокупность идей и принципов, позволяющих на едином информационном базисе строить объективную картину процесса решения научной или технической проблемы. Эволюция системы – процесс изменения ее структуры, множества решаемых задач и организации управления. Если каждой альтернативе, являющейся следствием эволюции ТС, соответствует одно детерминированное состояние и оно характеризуется одним значением критерия эффективности, то будем считать, что функционирование системы происходит в детерминированных условиях.

Исходя из того, что пространство существования ТС определяется множеством ее состояний, задача эволюционного моделирования при программировании жизненного цикла (ЖЦ) ТС имеет вид:

$$\forall k \in \{0, 1, 2, \dots, N\} \text{ найти } \max_{p, s, c} E = \max_{p, s, c} E(Y(P, S, C, k)), \quad (2)$$

где  $p \in P$  – множеству задач,  $s \in S$  – множеству структур,  $c \in C$  – множеству стратегий управления,  $Y$  – вектор-функция состояний системы. Решение задачи (2) предполагает нахождение в каждом временном интервале такого перечня задач  $p$ , выполняемых ТС, такой структуры  $s$  и стратегии управления  $c$ , которые максимизируют критерий эффективности функционирования ТС как функции его состояний. Заметим, что в большинстве случаев подмножество  $p$  определяется лицом, принимающим решение, в отличие от генеральной совокупности  $P$ , содержащей все реальные и потенциально возможные задачи.

## Аналитический обзор релевантных концепций

Решая задачу (2) и базируясь на эволюционной парадигме, отметим присутствие в процессе решения трех составляющих: теории сложных технических систем, методологии программированной эксплуатации объектов новой техники, теории и методов эволюционного моделирования.

Не углубляясь в детали, определим элементный базис, который будет необходим при решении нашей задачи, и который был создан ведущими отечественными и зарубежными учеными. Так, в работах Акоффа Р.Л., Эмери Ф., Бусленко И.П., Глушкова В.М., Калмана Р., Фалба П., Арбиба М., Кухтенко А.И., Матвеевского С.Ф., Михалевича М.В., Волковича В.Л., Моисеева Н.Н., Месаровича М., Такахары Я. даны определения сложной технической системы, рассмотрены сложные многоуровневые системы, аспекты и принципы их функционирования,

изучены законы функционирования и предложены численные методы исследования и проектирования.

Необходимость прогнозирования процессов жизненного цикла ТС после их проектирования на этапах изготовления, модернизации, адаптации и, возможно, ликвидации стала предпосылкой разработки концепции программирования жизненного цикла, представленной в работах Жука К.Д., Скурихина В.И., Тимченко А.А., Родионова А.А.

Динамика ТС, ее развитие и модификация структуры, обусловленные изменениями во внешней среде, и, как следствие, необходимость оптимизации процессов функционирования свидетельствуют в пользу применения эволюционного моделирования. Его концептуальные элементы и структурные единицы приведены в работах Батищева Д.И., Букатовой И.Л., Голдберга Д., Де Йонга К., Спирса В. и других ученых.

Выполняя анализ концепций исследования сложных систем, отметим, что их можно представить некоторой иерархической системой. На верхнем уровне находятся системные представления об объекте исследования – сложной ТС, которые отображаются в необходимость предвидения процесса ее динамики (программирование ЖЦ), что практически может быть реализовано с помощью эволюционного моделирования. Такая парадигма и рассматривается в настоящей статье.

## **Эволюционная парадигма – базис исследования сложных систем**

Задачу (2) можно отнести к классу сложных и трудно формализуемых проблем, которые являются предметом изучения в искусственном интеллекте. Достаточно часто для их решения используют эволюционные методы. В своем докладе на семинаре по методам моделирования в Казанском государственном техническом университете В.А. Райхлин указывает на то, что эволюционные подходы можно разделить на три группы: узко эволюционные, синергетические и связанные с ними системные [7]. Рассмотрим аспекты реализации методов каждой из этих групп в применении к решению задачи программирования жизненного цикла ТС.

**Элементарный эволюционизм.** К методам, представляющим первую группу, относят генетические алгоритмы, муравьиные алгоритмы, генетическое программирование, эволюционные стратегии и другие методы, в основе которых лежат принципы природного отбора и селекции. При решении задачи (2) с помощью указанных методов возникают проблемы, связанные с представлением решений в виде хромосом, формированием генеральной и выборочной популяции хромосом-решений, представлением и верификацией целевой функции (функции приспособленности). Кратко остановимся на каждой из них.

Очевидно, что в задаче (2) потенциальными решениями являются векторы, состоящие из набора задач, которые могут задаваться извне или возникать как внутренняя необходимость; вариантов структуры и количественных значений, определяющих распределение ресурсов. Важно заметить, что ограничения на области изменений всех перечисленных составляющих категорий на этапе научных исследований должны быть спрогнозированы, а задача (2) при указанных ограничениях исследована на разрешимость [8]. Формирование генеральной

совокупности определяется заданной точностью предполагаемого решения (2) и наталкивается на разнотипность представления решения в виде хромосомы. Так, количество и номенклатура задач, решаемых ТС является переменной величиной и, как следствие, для них необходимо резервировать максимальное число возможных позиций. Структура ТС определяется как один из вариантов и ее кодирование осуществляется наиболее просто. Часть хромосомы, отвечающая за представление ресурсной номенклатуры, является наибольшей, определяется количеством ресурсов и возможным их потреблением при заданном перечне задач и структуре ТС. Именно распределение ресурсов имеет наибольшую вариабельность и такое свойство направлено на оптимизацию функционирования ТС при уже указанной структуре. Целевая функция представляет собой критерий эффективности и формируется как интегральная характеристика показателей эффективности ТС, совокупность которых определяется лицом, принимающим решение.

Решение указанных проблем на этапе научных исследований и проектирования неизбежно сопровождается дуальными обстоятельствами: информационной неопределенностью и информационной избыточностью. Информационная неопределенность обусловлена отсутствием данных, их неполнотой, субъективизмом процессов принятия решений. Информационная избыточность возникает при формализации задачи и кодировании потенциальных решений.

Важным аспектом является то, что решение задачи (2) для каждого момента времени  $k$  зависит от решения, полученного на шаге  $k-1$  и, возможно, на более ранних этапах функционирования ТС. И в то же время информация об оптимальном решении, полученная для следующих этапов, может быть использована для оптимизации решений более ранних этапов. Такая процедура требует более детального отдельного рассмотрения.

**Синергетические аспекты.** В работе [9] С.П. Курдюмов дал такое определение: “Синергетика – наука, изучающая общие закономерности образования и разрушения структур в любых сложных неравновесных системах”. Выполняя эволюционное моделирование ЖЦ ТС, необходимо учитывать, что оно направлено на максимизацию ее эффективности посредством саморганизации, представляющей процесс неравновесного упорядочения. Ниже рассмотрим аспекты, сопровождающие этот процесс. Пока только заметим, что саморганизация определяется не только динамикой и влиянием внешней среды, но и состоянием, и развитием внутренних процессов в системе.

**Системный эволюционизм.** Академик П.К. Анохин в полемике с основателями математической теории систем писал [10]: “Системой можно назвать такой комплекс вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие приобретает характер взаимосодействия на получение сфокусированного полезного результата – главного системообразующего фактора”. Таким образом, функционирование всех элементов системы должно быть направлено на достижение ее главной и сопутствующих целей. Применение методологии системного подхода [3-4] к решению задачи программирования жизненного цикла начинается с систематизации имеющихся данных и знаний, этапами которой являются решения задач кластеризации и классификации, поиска ассоциаций и последовательностей. Попытки решения некоторых таких задач методами эволюционного моделирования приведены в [11-12].

Информация, полученная на этапе систематизации, необходима для выполнения формализации. На этом шаге определяют входные факторы, выходные характеристики, совокупность исходных данных, что дает возможность осуществить постановку задачи идентификации искомой зависимости и ее оптимизации.

Системной надстройкой над предыдущими этапами является целеполагание или целеориентация, так как на достижение цели и направлены все другие операции. Цель почти никогда не бывает единственной, а глобальную цель сопровождает множество подцелей, упорядоченных в граф целей, имеющий “И-ИЛИ” структуру. Заметим, что она динамически изменяется во времени, и такая динамика определяется как внешними условиями, так и внутренней необходимостью (рис. 1).

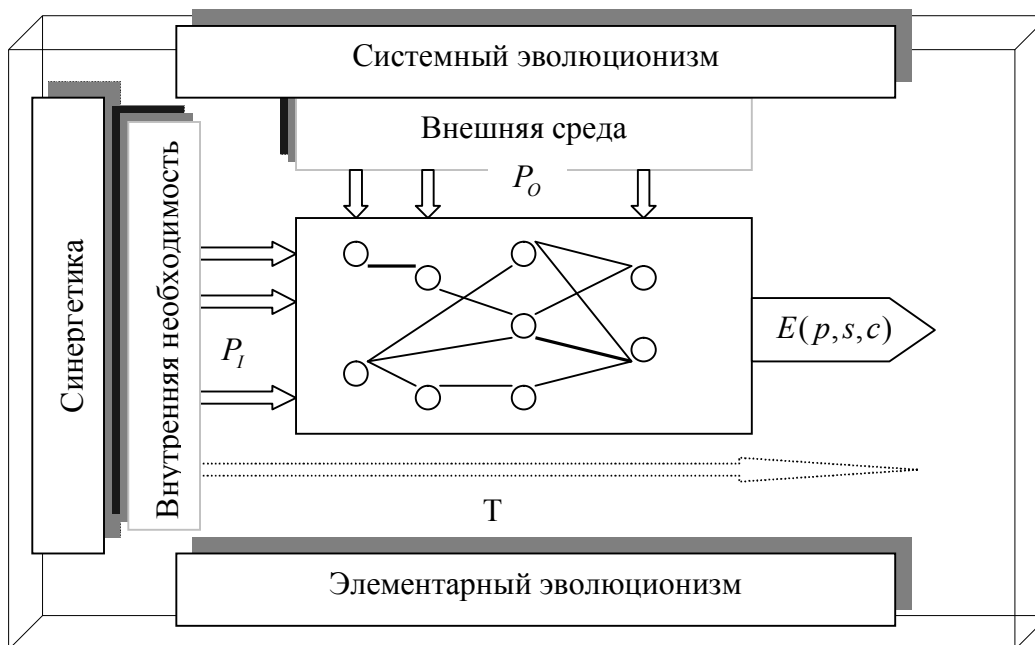


Рис.1 – Пространство существования и развития ТС

## Формальное описание основных элементов эволюционного моделирования в детерминированных условиях

Как уже было указано выше, реализация эволюционной парадигмы при программировании ЖЦ ТС наталкивается на проблемы формирования генеральной и выборочной совокупностей хромосом-решений, целевой функции и выбор внутренних механизмов реализации конкуренции между решениями. Поскольку предполагается, что моделирование происходит в детерминированных условиях, то каждому решению соответствует некоторое значение целевой функции и большее значение целевой функции отвечает лучшему решению. Предложим такой механизм формирования генеральной совокупности. Будем считать, что структура ТС  $S$ , стратегия управления  $C$ , множество решаемых задач  $P$  изменяется дискретно под влиянием внешних условий и внутренних факторов. Таким образом,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ,

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ ,  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_g\}$ . Для каждого момента времени, когда происходит изменение хотя бы одной из составляющей  $S, C$  или  $P$  определим матрицу возможных значений эффективности  $E_{ijl}^k = E(p_i, s_j, c_l)$ ,  $i = \overline{1, g}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $l = \overline{1, q}$ .

Методами эволюционного моделирования решаем задачу определения оптимальной стратегии управления ТС, которая реализуется на ее структуре. Последняя, как и большинство других задач определяется внешней средой как объективная реальность, так и субъективно. Эффективность ТС как динамической системы зависит не только от указанных факторов, но и от времени, в котором интегрированы все неучтенные факторы различной природы. Поэтому рационально осуществить идентификацию зависимости  $E = E(t)$  и находить оптимальное значение как интегральный показатель.

При моделировании необходимо учитывать существующие приоритеты, которые накладывают отпечаток на формирование выборочной популяции решений. Важным является вопрос о разрешимости задачи адекватного моделирования и существования решения с использованием эволюционной парадигмы. Базовые положения, необходимые и достаточные условия приведены в [12].

## Заключение

Задача, рассмотренная в статье, относится к разряду экстраполяционных с неопределенной областью поиска и, как считал академик В.М. Глушков, не может быть решена компьютером. Поэтому сужение и ограничение области поиска - необходимое условие ее решения. К сожалению, локализация такой области базируется исключительно на эвристиках, являющихся следствием опыта, интуиции и знаний исследователя.

Предложенная технология, являющаяся композицией эволюционного моделирования и программируемой эксплуатации сложных ТС, естественно отображает развитие, модернизацию, адаптацию таких систем во времени. Решения, полученные в результате моделирования, являются конкурирующими, направленными на получение максимальной эффективности системы. Они динамически преобразовываются и каждое следующее решение зависит от предыдущего, что не исключает появление решения, не вписывающегося в такой временной ряд и являющегося следствием катастроф различной природы.

## Литература

1. Згуровський М.З. Сценарний аналіз як системна методологія передбачення // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002. – № 1. – С. 7-38.
2. Месарович М., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
3. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів. – К.: Либідь, 2000. – 272 с.
4. Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. – К.: Наук. думка, 1991. – 152 с.
5. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.

6. Згуровский М.З., Доброногов А.В., Померанцева Т.Н. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа. – К.: Наук. думка, 1997. – 221 с.
7. <http://modelling.kai.ru/inv.html>.
8. Снитюк В.Е. Методы уменьшения неопределенности на начальных этапах проектирования систем с переменной структурой: Дис... канд. техн. наук: 05.13.06. – К.: КНУБА, 1999. – 150 с.
9. Курдюмов С.П. Самоорганизация сложных систем // Экология и жизнь. – 2000. – № 5. – С.42-45.
10. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. – М.: Наука, 1973. – С. 5-61.
11. Snytyuk V. Evolutionary clustering of complex systems and processes // Information Theories and Applications. – 2006. – Vol. 13. – № 4. – Pp. 344-349.
12. Снитюк В.Е. Аспекты эволюционного моделирования в задачах оптимизации // Донецк: Искусственный интеллект. – 2005. – № 4. – С. 284-291.

*The task of life cycle programming of complex technical systems is difficultly for formalization and for its solving it is necessary to use the methods related to the subject domain of artificial intelligence. In this paper the aspects of composition of evolutionary modeling and theory of life cycle programming are expounded. Actuality and rationality of such union is based on the necessity of future processes foresight and following to the natural laws, and also the use of elementary, system evolutionism and synergy.*