

УДК 303.732

ОБЩИЙ КЛАССИФИКАТОР СИСТЕМНЫХ ПРОБЛЕМ. Часть I: АНАЛИЗ, СИНТЕЗ, ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ

Ю.И. Лобановский

*ПАО «Корпорация «Иркут», Москва 125315, Россия
@Автор для переписки, e-mail: streamphlow@gmail.com*

В статье представлен верхний уровень общего классификатора системных проблем. Этот классификатор рассматривается как объект системной инженерии. В соответствии с ее современными принципами построение начато с создания функциональной структуры классификатора. Выполнена валидация требований к этой структуре. Выявлено шесть элементов верхнего уровня. Построена логическая архитектура классификатора и выполнена предварительная верификация требований к нему. Показано, что предложенная структура общего классификатора проблем в целом совпадает со структурой пяти причин экологических катастроф, описанных в книге Дж. Даймонда «Коллапс», если экологическую терминологию заменить общесистемной. Системно-инженерный подход при построении классификатора позволил создать более полную и адекватную структуру, чем простое эмпирическое рассмотрение массива соответствующих данных. Использование предлагаемого классификатора системными инженерами позволит избежать в будущем тех ошибок, которые ранее приводили к провалам при построении и/или развитии сложных систем.

Ключевые слова: проблема, классификация, системная инженерия, требования, валидация, верификация.

GENERAL CLASSIFIER OF SYSTEM PROBLEMS - I: ANALYSIS, SYNTHESIS, VALIDATION AND VERIFICATION

Yu.I. Lobanovsky

*Irkut Corporation, Moscow 125315, Russia
@Corresponding author e-mail: streamphlow@gmail.com*

The upper level of a general classifier of system problems was constructed on the basis of system principles. This classifier was considered as an object of system engineering, and in accordance with its modern principles, the construction was started with the creation of the classifier functional structure. Further, requirements for this structure were validated. At the same time, as a result of the system problems analysis, taking into account the similarity of functional structures at the system level and at the level of its environ, six elements of its

upper level were identified. Then the logical architecture of the classifier was constructed, and preliminary verification of the requirements was carried out.

It was shown that the proposed structure of the general classifier of problems with one exception coincides with the structure of 5 causes of ecological disasters described in the book by J. Diamond "Collapse", if one replaces his ecological terminology by a system-wide one. The exception is one structural element of the general classifier of problems, which was not revealed in the empirical analysis of both system and ecological problems. Thus, the system-engineering approach in constructing the classifier allowed to create a more complete and adequate structure than a simple empirical examination of relevant data array.

Classification of system problems helps to better understand the reasons why complex systems are not able to perform the tasks assigned to them. Therefore, it should be expected that the use of this classifier by system engineers will allow avoiding in the future those mistakes that led to failures in the past in the construction and/or development of complex systems.

Keywords: problem, classification, system engineering, requirements, validation, verification.

Введение

Каждому человеку, человеческим консорциям, этносам и человечеству в целом непрерывно и постоянно приходится решать самые разнообразные проблемы. Подавляющее их большинство решается хорошо известными способами на уровне инстинктов или элементарной рассудочной деятельности. Совсем немногие из возникающих проблем заставляют субъектов, их решающих, использовать свой разум. И уж совсем ничтожная доля проблем связана с осознанием поведения природных, технических или общественных явлений или объектов, описываемых, как правило, большими массивами информации. Отдельные компоненты этих явлений или объектов взаимодействуют между собой, влияют друг на друга вплоть до того, что частные «правильные» решения по этим компонентам становятся неприемлемыми, опасными или даже катастрофическими для эволюции данных явлений или объектов в целом и для субъектов, адаптирующихся к ним или управляющих ими. В таких случаях принято говорить о сложных системах, и решение связанных с ними проблем относят к теории систем. Если сложные системы относятся к технике, то соответствующие руководства, умения и практики обычно называют системной инженерией, которая используется при создании сложных систем.

Несмотря на сравнительную редкость вызовов, возникающих при осознании поведения или при построении сложных систем, ошибочные ответы на них могут приводить к серьезным проблемам на всех уровнях, иногда они могут быть и критически важными для выживания различных консорциев, а то и всего человечества в целом. Поэтому совершенствование способов решения подобных проблем представляется насущной задачей. Наиболее развитыми и проработанными системными методами обладает системная инженерия [1], однако, по мнению автора настоящей работы, в ней практически не проанализированы и не систематизированы причины провалов, происшедших ранее при разработках сложных технических систем. Знание и понимание причин неудач, создание условий для предотвращения провалов в новых проектах способно значительно повысить степень их успешности.

В настоящей работе представлен общий классификатор системных проблем, рассматриваемый как некий инженерный объект и разрабатываемый в соответствии с принципами и общепринятыми практиками системной инженерии.

Функциональная архитектура классификатора

В соответствии с руководством DoD Architecture Framework 2.0 [2] для системного проектирования на концептуальном этапе рекомендуется использовать процесс «Из середины» (*Middle out Process*), начинающийся с функционального анализа рассматриваемой системы. Далее проводится анализ требований и синтез системы, то есть создание логической структуры системы. Процесс повторяется итеративно, пока не будет построена система, удовлетворяющая сформулированным в этом процессе требованиям, размещенным на построенной структуре (рисунок).

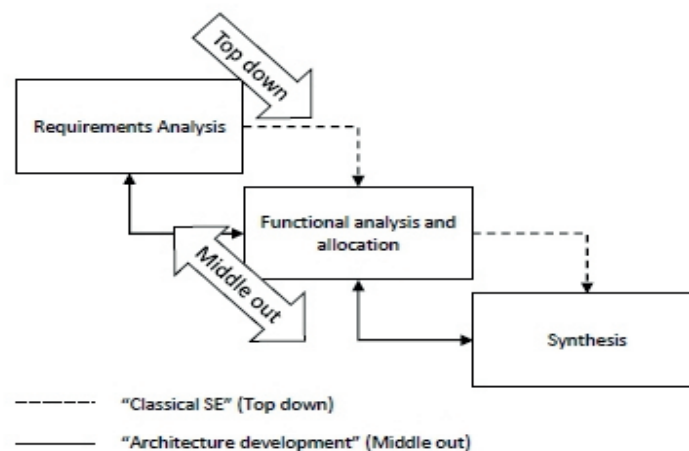


Схема проведения системного проектирования на концептуальном этапе [2].

Поскольку классификатор системных проблем должен отображать всю совокупность проблем, возникающих или могущих возникнуть вследствие отступления от системных принципов при проектировании или анализе сложных систем, то функции верхнего уровня классификатора должны описывать возможные нарушения такого процесса. Структура функций этой сложной системы достаточно прозрачна – проблемы в системе могут возникнуть как внутри нее, так и на границе между нею и ее окружением [1]. Поэтому структура разделяется на две подгруппы, каждая из которых функционально должна быть подобна другой, так как при переходе на более высокий уровень рассмотрения прежняя система становится подсистемой, и проблемы внешнего окружения становятся уже проблемами внутрисистемными, и наоборот. Структура проблем, обнаруженных на системном уровне, должна быть отображена и в системе, включающей в себя рассматриваемый объект/процесс, то есть на интерфейсе между ним и внешней средой.

Все проблемы в моделируемом/проектируемом объекте/процессе логически можно разделить следующим образом: недостаток в нем системности, противоречия между его подсистемами и превышение потребных ресурсов хотя бы одной его подсистемы над располагаемыми. То же самое с очевидными изменениями, вызванными переходом рассмотрения потенциальных проблем на уровень выше, имеет место на интерфейсе между ним и внешней средой. Поэтому после первых попыток анализа системных проблем [3]

вырисовывается следующая функциональная структура, целью использования которой является классификация системных проблем.

Действия, приводящие к внутрисистемным проблемам:

- моделирование/проектирование объекта/процесса не как системы, а как совокупности не связанных или слабо связанных между собой компонент;
- моделирование/проектирование системы, функционирование которой приводит к неразрешимым в рамках системы внутренним противоречиям;
- моделирование/проектирование системы, функционирование подсистем в которой приводит к их ресурсному тупику.

Действия, приводящие к проблемам окружения:

- моделирование/проектирование интерфейса системы как совокупности случайных, неконтролируемых или неправильно определенных связей с окружением;
- моделирование/проектирование интерфейса системы, функционирование которого приводит к неразрешимым противоречиям между системой и окружающей средой;
- моделирование/проектирование интерфейса системы, функционирование которой приводит к ее ресурсному тупику.

Из условия подобия функциональных структур на уровне системы и на уровне ее окружения возникает функциональный элемент, который не был найден при анализе и в котором системные принципы строго и последовательно не применялись [3].

Анализ требований (валидация)

В соответствии с дальнейшим ходом принятого процесса проектирования системы «Из середины» перейдем к анализу требований. Начнем с их валидации – мы должны убедиться в том, что:

- 1) набор требований правилен, полон и непротиворечив;
- 2) может быть создан образец, который удовлетворяет требованиям;
- 3) может быть достигнуто и испытано реальное решение, которое удовлетворяет требованиям [4].

Прежде всего, надо сформулировать данные требования. Так как классификатор проблем – это структурированный информационный объект, где накапливается, хранится и анализируется информация, то набор требований к нему, в целом, должен совпадать с требованиями к любой научной теории, к которым следует добавить уже упомянутое выше требование о подобии его элементов на двух соседних уровнях. Общий классификатор системных проблем должен быть:

- непротиворечивым (в первую очередь, внутренне);
- полным (охватывать все возможные системные проблемы);
- правильным (отображать существенно различные причины системных проблем в различных структурных элементах);
- на уровнях системы и ее окружения должно быть одинаковое количество структурных элементов.

Непротиворечивость классификатора следует из его функциональной структуры – очевидно, что функции из предложенного набора не пересекаются между собой. Ясно также, что в рамках предложенной структуры можно разместить любую проблему, по-

этому классификатор является полным. Однако его правильность, то есть соответствие его структуры реальным проблемам, возникающим при моделировании/проектировании систем, может быть проанализирована только при размещении этих проблем в структурах классификатора. Последнее требование о числе уровней в предложенной структуре, очевидно, выполняется.

Синтез системы – логическая архитектура классификатора

В соответствии с эмпирическим правилом системной инженерии, вытекающим из характеристик психологических возможностей человека, которое гласит, что «на одном структурном уровне классификатора целесообразно иметь 7 ± 2 структурные единицы», при построении логической архитектуры все структурные элементы разместим на одном уровне. Тогда их будет 6, и они будут являться верхним уровнем классификатора системных проблем. В данной статье этим уровнем и ограничимся. Дальнейшее углубление структуры может быть проведено, если далее появится такая потребность.

Из набора функций классификатора и принятого выше допущения вытекает следующая логическая структура общего классификатора системных проблем:

а) несистемность (отсутствие системного подхода) – неконтролируемое, и, следовательно, неблагоприятное влияние компонент объекта/процесса на их функционирование (внутренний хаос);

б) негативная эмерджентность – непознанное или не учитываемое проектантами/исследователями из-за сложности анализа неблагоприятное взаимодействие подсистем/компонент рассматриваемой системы, приводящее к ее разрушению [5];

с) внутренний ресурсный тупик – ограничение возможностей хотя бы одной из подсистем (ее характеристики не соответствуют требованиям, предъявляемым к ней системой), и это ограничение невозможно преодолеть внутри данной подсистемы при существующем технологическом уровне;

д) несистемность на надсистемном уровне – неблагоприятное влияние факторов существующего окружения на функционирование системы (неблагоприятный интерфейс системы);

е) изменение сценария – непредсказуемое, неблагоприятное и ранее не существовавшее влияние факторов изменившегося окружения на функционирование системы (неблагоприятное изменение интерфейса);

ф) внешний ресурсный тупик – ограничения возможностей системы в рамках надсистемы (то же, что и границы развития или пределы роста).

Верификация требований (первый этап)

Теперь следует продемонстрировать, что любое требование может быть удовлетворено, то есть любая сложная система или сложный процесс, которые испытывали бы серьезные проблемы и претерпели провалы и/или даже катастрофы во время прохождения своего жизненного цикла, укладываются в предлагаемую логическую структуру общего классификатора проблем. Для доказательства данного утверждения рассмотрим сначала примеры известных технических проектов и общественных процессов, завершившихся неудачно, из статьи [3], которая стала отправным пунктом при написании настоящей ра-

боты. Хотя там было рассмотрено только 7 таких систем, они естественно распределились по 5 разделам классификатора, за исключением раздела с) – внутреннего ресурсного тупика. Советская лунная программа и американская программа Constellation (Созвездие) явно относятся к разделу а) – несистемность; Саянская катастрофа – очевидный случай из раздела б) – негативная эмерджентность; проблемы советских истребителей начала Великой Отечественной войны представляют собой явный случай, укладывающийся в раздел классификатора d) – несистемность на надсистемном уровне; утрата боевой ценности македонской фаланги и линкоров дредноутного класса произошла из-за изменения сценариев боевых действий (раздел е) классификатора). И, наконец, проблемы с настоящим и будущим применением современных истребителей пятого поколения явно указывают на внешний ресурсный тупик (раздел f) классификатора) [3].

Применим предложенную структуру общего классификатора проблем к экологическим проблемам. В большой и интересной книге Дж. Даймонда «Коллапс» [6] рассмотрены экологические катастрофы, произошедшие с несколькими десятками человеческих сообществ от древности до современности, и там сформулированы 5 причин произошедшего, которые вполне можно сопоставить с 5 разделами общесистемного классификатора, на которые нашлись примеры в статье [3]. Это сопоставление проведено в таблице в ее первом и втором столбцах: в первом – разделы классификатора а), б) и d)–f), во втором – русский перевод оригинальных формулировок Дж. Даймонда (в некоторых случаях они варьируются в разных частях книги).

Применение структуры общего классификатора к экологическим проблемам

Общесистемные катастрофы	Экологические коллапсы – 1	Экологические коллапсы – 2
Несистемность (отсутствие системного подхода)	Отношение к окружающей среде/ Культурные стереотипы	Ненадлежащее отношение к окружающей среде (прогнозируемое разрушение среды обитания)
Негативная эмерджентность	Разрушение среды обитания/ Непреднамеренный экологический суицид	Непрогнозируемое (неумышленное) разрушение среды обитания
Несистемность на надсистемном уровне	Враждебные соседи	Враждебное окружение
Изменение сценария	Изменения климата	Неблагоприятные изменения природных условий
Внешний ресурсный тупик	Исчезновение дружественных торговых партнеров	Прекращение поступления извне необходимых ресурсов

Формулировки «Экологические коллапсы – 1» возникли в результате эмпирического обобщения рассмотренных в книге событий без каких-либо попыток применения системных подходов к структуре экологических проблем, поэтому, на наш взгляд, естественно, страдают некоторыми неточностями и использованием слишком частной терминологии. Представляется, что уточненные формулировки «Экологические коллапсы – 2» более полно и правильно отражают дух проблем, рассмотренных Дж. Даймондом в его книге (см. столбцы 2 и 3 таблицы). Тогда получается абсолютно полное соответствие между пятью разделами общесистемного классификатора и формулировками причин экологических коллапсов – там используются совершенно те же идеи, только выраженные словами из другой области знаний. В самом деле: ненадлежащее (несистемное) отношение к окружающей среде – это хаотическая ее эксплуатация без каких-либо попыток ограни-

чить свои хищнические инстинкты, что рано или поздно приводит к коллапсу сообщества, проводящего такую деятельность. Непрогнозируемое разрушение среды обитания относится к ситуации, когда сообщество стремится проводить свою хозяйственную деятельность на вполне рациональных принципах (то есть – системно), стремясь сохранить свою среду обитания. Однако оно не способно оценить критически важные связи между элементами этой среды, нарушение которых приводит к ее коллапсу, приход которого это сообщество совершенно не ожидает.

Враждебное окружение, которое может включать не только враждебных соседей, на экологическом уровне вполне соответствует той ситуации, когда в принципе вполне жизнеспособная система не может успешно выполнять свои функции, так как ее создатели неправильно разработали для нее интерфейс. Неблагоприятные изменения природных условий (похолодание, перманентная засуха, взрыв вулкана, изменение течения реки), очевидно, является изменением сценария, который описывает жизнь человеческого сообщества. Прекращение поступления необходимых природных ресурсов извне не только по причине исчезновения торговых партнеров, но и по любой другой, в общесистемных терминах вполне описывается как внешний по отношению к рассматриваемому сообществу ресурсный тупик.

Таким образом, все экологические коллапсы, описанные в книге Дж. Даймонда, вполне укладываются в предлагаемую общесистемную классификацию. Однако в трудах [3, 5] пропущена еще одна, шестая причина коллапсов – внутренний ресурсный тупик, которая в экологических терминах может быть сформулирована как отсутствие или истощение доступных сообществу внутренних природных ресурсов. В качестве простых примеров подобной ситуации можно указать полное исчерпание какого-нибудь источника вулканического стекла, расщепленные осколки которого использовались бы владеющим им древним племенем для производства режущих предметов, или более-менее полная выработка нефти современным человечеством из земных месторождений при отсутствии к этому времени серьезной энергетической альтернативы. Следовательно, целенаправленное использование системных методов позволяет моделировать/проектировать более полно описанные системы, что увеличивает вероятность успеха при их применении.

Таким образом, первый этап верификации требований к общему классификатору системных проблем показал, что структура его первого уровня описывает все рассмотренные на этом этапе технические, общественные и экологические проблемы, и переработки функциональной и логической структур не требуется. Необходимо провести следующий этап верификации требований на основе расширенного и открытого ко всем возможным дополнениям списка проблем.

Литература:

1. Косяков А. [и др.] Системная инженерия. Принципы и практика : Пер. с англ. под ред. В.К. Батоврина. М.: ДМК Пресс, 2014. 624 с.
2. Diehl M., Hornung M. Requirements engineering of a micro-UAY defense system // IEEE Xplore. 2017. 8 p. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7934731/> (дата обращения 02.07.2018).
3. Лобановский Ю.И. Несистемность – источник критических проблем при проек-

тировании сложных систем // Synerjetics Group. 2018. 16 с. URL: <http://www.synerjetics.ru/article/nonsystems.pdf> (дата обращения 02.07.2018).

4. Bahill A.T., Henderson S.J. Requirements development, verification, and validation exhibited in famous failures // Systems Engineering. 2005. V. 8 № 1. P. 1–14. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sys.20017> (дата обращения 02.07.2018).

5. von Bertalanffy L. General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller Inc., 1968. 289 p.

6. Даймонд Дж. Д. Коллапс. М.: АСТ, 2010. 762 с. URL: <https://www.e-reading.club/book.php?book=1006586> (дата обращения 02.07.2018).

References:

1. Kossiakoff A. [et al.] Systems Engineering: Principles and Practice. Wiley, 2011. 560 p.

2. Diehl M., Hornung M. Requirements engineering of a micro-UAY defense system // IEEE Xplore. 2017. 8 p. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7934731/> (access data 02.07.2018).

3. Lobanovsky Yu.I. Non-system is the source of critical problems in the design of complex systems // Synerjetics Group. 2018. 16 p. (in Russ.) URL: <http://www.synerjetics.ru/article/nonsystems.pdf> (access data 02.07.2018).

4. Bahill A.T., Henderson S.J. Requirements development, verification, and validation exhibited in famous failures // Systems Engineering. 2005. V. 8 № 1. P. 1–14. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sys.20017> (access data 02.07.2018).

5. von Bertalanffy L. General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller Inc., 1968. 289 p.

6. Diamond J. Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed. Penguin Books Ltd., 2005. 608 p.

Об авторе:

Лобановский Юрий Иоасафович, кандидат физико-математических наук, ведущий инженер, ПАО «Корпорация «Иркут» (Россия, 125315, Москва, Ленинградский пр-т, д. 68).

About the author:

Yury I. Lobanovsky, Ph.D. (Phys.-Math.), Leading Engineer, Irkut Corporation (68, Leningradsky prospect, Moscow, 125315, Russia).