

Общий классификатор системных проблем

Ю. И. Лобановский

Краткое содержание

В работе на основе системных принципов построен верхний уровень общего классификатора системных проблем. Рассмотрено 60 известных из истории технических проектов, природных и общественных процессов, завершившихся неудачно – провалами, авариями и катастрофами. Все они были размещены на структуре предлагаемого классификатора. Не выявлено ни одного проекта, события или процесса, которые не могли бы найти там свое естественное место. Классификация системных проблем помогает лучше понять причины, по которым сложные системы не способны выполнить возлагаемые на них задачи. Поэтому, следует ожидать, что использование данного классификатора системными инженерами позволит им избежать в будущем тех ошибок, которые в прошлом приводили к провалам при построении и/или развитии сложных систем.

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

I. 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 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, причем отдельные компоненты этих явлений или объектов взаимодействуют между собой. При этом они влияют друг на друга вплоть до того, что частные «правильные» решения по этим компонентам становятся неприемлемыми, опасными или даже катастрофическими как для эволюции этих явлений или объектов в целом, так 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, однако, по мнению автора данной работы, в ней практически не систематизированы причины провалов, происходивших ранее при разработках сложных технических систем. А ведь знание и понимание причин этих неудач, и создание условий для их предотвращения в новых проектах способно значительно повысить степень их успешности.

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

II. Функциональная архитектура классификатора

В соответствии с руководством [1] (DoD Architecture Framework 2.0, 2015), 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. При этом процесс повторяется итеративно, пока не будет построена система, удовлетворяющая сформулированным в этом процессе требованиям, размещенным на построенной структуре, см. рис. 1.

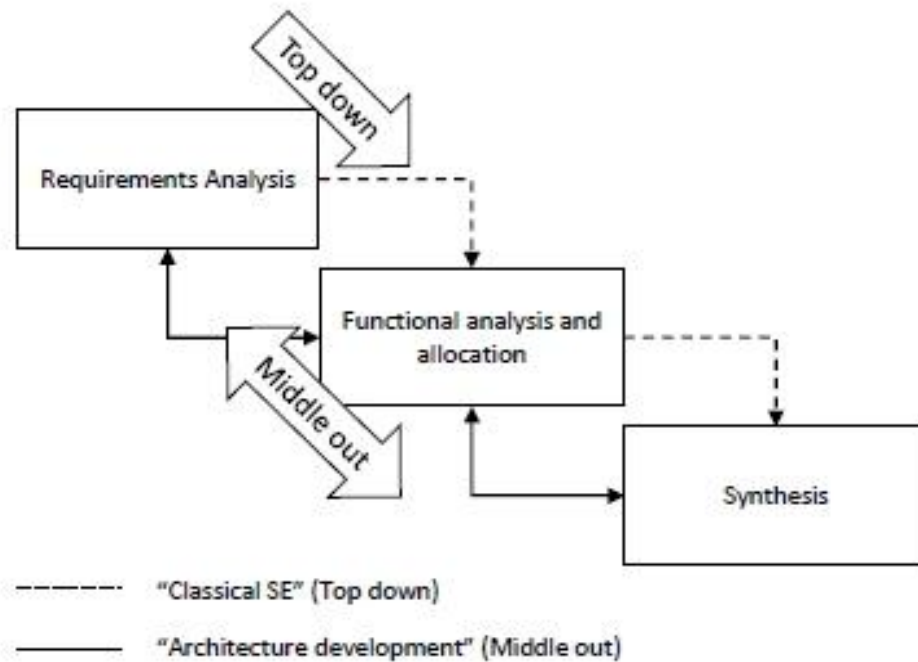


Рис. 1 – Схема проведения системного проектирования на концептуальном этапе

Так как 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 сложной системы достаточно прозрачна – проблемы в системе могут возникнуть как внутри нее, так и на границе между ней и ее окружением [1]. Поэтому эта 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. Обратное происходит при переходе на более низкий уровень рассмотрения. Поэтому 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 на недостаток в нем системности, на противоречия между его подсистемами и на 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 [2] 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.

При этом из условия подобия функциональных структур на уровне системы и на уровне ее окружения, возник функциональный элемент (третий в первом разделе), соответствия которому нет в работе [2].

III. Анализ требований (валидация)

В соответствии с принятым процессом 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 и (3) может быть достигнуто и испытано реальное решение, которое удовлетворяет требованиям [3]. Но прежде всего надо сформулировать эти 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. Поэтому, 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. Также ясно, что в рамках предложенной структуры можно разместить любую проблему, поэтому 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 в предложенной структуре, очевидно, выполняется.

Функциональный образец классификатора представлен в разделе II. Логическая структура, реализующая функциональную структуру из раздела II, будет представлена в следующем разделе работы. Верификация требований, то есть получение доказательств того, что любое требование может быть удовлетворено, также будет проведена далее.

IV. Синтез системы – логическая архитектура классификатора

В соответствии с эмпирическим правилом системной инженерии, вытекающим из характеристик психологических возможностей человека: «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 работе этим уровнем и ограничимся. Дальнейшее углубление его структуры может быть проведено, если далее появится такая потребность.

Из набора функций классификатора и условия, сформулированного в предыдущем абзаце, вытекает следующая логическая структура общего классификатора системных проблем:

- a) Несистемность (отсутствие системного подхода) – неконтролируемое, и, следовательно, неблагоприятное влияние компонент объекта/процесса на их функционирование (внутренний хаос).
- b) Негативная эмерджентность – непознанное или не учитываемое проектантами/исследователями из-за сложности анализа неблагоприятное взаимодействие подсистем/компонент рассматриваемой системы, приводящее к ее разрушению.
- c) 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.
- d) Несистемность на надсистемном уровне – неблагоприятное влияние факторов существующего окружения на функционирование системы (неблагоприятный интерфейс системы).
- e) Изменение сценария – непредсказуемое, неблагоприятное и ранее не существовавшее влияние факторов изменившегося окружения на функционирование системы (неблагоприятное изменение интерфейса).
- f) Внешний ресурсный тупик – ограничения возможностей системы в рамках надсистемы (то же, что и границы развития или пределы роста).

V. Анализ требований (верификация)

Теперь следует продемонстрировать, что любое требование может быть удовлетворено. В данных обстоятельствах это означает, что 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.

VI. Верификация требований (первый этап)

Для доказательства этого рассмотрим сначала примеры известных технических проектов и общественных процессов, завершившихся неудачно, из статьи [2], которая стала исходным пунктом написания данной работы. 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) вполне 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) (см. [2]).

Далее применим предложенную структуру общего классификатора проблем к экологическим проблемам. В большой и интересной книге Дж. Даймонда «Коллапс» [4] 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 [2].

Это сопоставление проведено в таблице 6-1 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).

Таблица 6-1

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

Эти формулировки («Экологические коллапсы – 1») возникли в результате эмпирического обобщения рассмотренных в книге событий без каких-либо попыток применения системных подходов к структуре экологических проблем, и поэтому, на взгляд автора данной работы, 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 своей книге (см. столбцы 2 и 3 таблицы 6-1).

Но, 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 ограничить 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 интерфейс для этой системы. Неблагоприятные изменения природных условий (похолодание, перманентная засуха, взрыв вулкана, изменение течения реки), очевидно, является изменением сценария, который описывает жизнь человеческого сообщества. Ну, и прекращения 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.

Так что все экологические коллапсы, описанные в книге Дж. Даймонда вполне укладываются в предлагаемую общесистемную классификацию. Но в работе [4] (кстати, так же как и в работе [2]) 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 серьезных энергетических альтернатив. Это демонстрирует то, что 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 его структур не требуется. Поэтому нужно провести следующий этап верификации требований на основе расширенного и открытого ко всем возможным дополнениям списка проблем.

VII. Верификация требований (второй этап)

Для доказательства правильности и полноты структуры классификатора рассмотрим 60 технических проектов, природных и общественных процессов, завершившихся неудачно, 7 из которых уже использовались на первом этапе верификации (см. [2]). Кроме них 23 «знаменитые неудачи» взяты из работы [3] (рассмотренные там с иной точки зрения) и еще 4 – выбраны из книги [4] как самые яркие. А 26 оставшихся взяты практически случайным образом из бесконечного списка неудач, известных в истории, так, чтобы на каждый из 6 классификационных разделов приходилось по 10 примеров. Предполагается, что такое их количество достаточно для окончательной верификации требований, при условии, что не будет найдено никаких примеров, которые бы нельзя было бы разместить в рассматриваемой структуре классификатора общих системных проблем.

Для компактности представления результатов анализа воспользуемся табличной формой. Событие, процесс или явление, завершившееся инцидентом, аварией или даже катастрофой, описано в первом столбце таблиц. Во втором столбце указан год инцидента или примерные границы процесса. В третьем кратко описана причина произошедшего и дана ссылка, по которой можно более подробно изучить это событие. Обычно, в качестве причины принимается объяснение, указанное в этой ссылке, за исключением тех случаев, когда оно очевидно является негодным, что, по мнению автора, имеет место быть при описании нескольких эпизодов в работе [3] (особенно это относится к Чернобыльской катастрофе, где причина, по существу, не называется). Предполагается, что причины всех инцидентов из каждой таблицы укладываются в раздел классификатора, названный в ее заголовке.

Сначала исследуем раздел классификатора а) «Несистемность (отсутствие системного подхода) – неконтролируемое, и, следовательно, неблагоприятное влияние компонент объекта/процесса на их функционирование (внутренний хаос)».

Таблица 7-1 – Несистемность

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Гибель Титаника	1912	Использование теряющих прочность на холоде заклепок крепежа внешних листов корпуса судна, что привело к образованию недопустимо больших пробоин в нем после скользящего удара лайнера Титаник об айсберг [3].
Закрытие советской лунной программы	1962 – 1974	Отработка подсистем лунной ракеты-носителя в целом не на наземных стендах, а путем ее «отстрела», что не позволило довести эту систему до работоспособного состояния [2].
Авария на Аполлоне-13	1970	Изменение параметров нагревателя кислородного бачка без соответствующего изменения его документации [3].
Взрыв Спейс Шаттла Челленджер	1986	Ошибочная конструкция стыков секций твердотопливных ускорителей, собираемых на космодроме, не обеспечивающая герметичность соединения, особенно, на холоде [3, 5].
Взрыв ракеты-носителя Ариан 5	1996	Использование программного обеспечения предыдущей модели носителя без переработки и верификации [3].
Отказ спутника наблюдения за земной поверхностью	1997	Использование дефектного программного обеспечения в модуле ориентации [3].
Катастрофа аппарата для изучения климата Марса	1999	Использование разных единиц измерения производителем аппарата и организацией, им управлявшей [3].
Катастрофа аппарата для посадки на полюс Марса	1999	Не проведение испытаний двигательной системы аппарата в его посадочной конфигурации [3].
Перепроектирование электросистемы аэробуса А-380	2000 – 2006	Использование различных не стыкующихся между собой версий системы автоматизированного проектирования САТІА разными подразделениями компании Airbus [6].
Закрытие американской лунной программы Созвездие	2004 – 2010	Сознательное нарушение системности разработки ракет-носителей в целях экономии [2].

Представляется, что все инциденты, к которым привел несистемный подход при их разработке и создании вполне понятны даже при таком кратком их описании. Единственное, что хотелось отметить автору – это то, что, несмотря на все развитие системной инженерии, крупные неудачи, связанные с несистемностью инженерных разработок не прекращаются, и кажется даже, что их частота во времени в последние десятилетия не уменьшается.

Теперь перейдем к разделу классификатора б) «Негативная эмерджентность – непознанное или не учитываемое проектантами/исследователями из-за сложности анализа неблагоприятное взаимодействие подсистем рассматриваемой системы, приводящее к ее разрушению».

Таблица 7-2 – Негативная эмерджентность

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Засоление Междуречья Тигра и Евфрата	560-е гг. до н. э.	Использование методов мелиорации, пригодных в Египте, но непригодных в Междуречье [7].
Введение христианства на Руси и подрыв ее экспорта	988	Прекращение полюдья (ежегодных походов князей по окрестным территориям для сбора важнейшего товара русского экспорта – славянских рабов) из-за трудностей сбыта христиан собратьям по вере [8].
Флаттер крыла самолета	1930 – 1945	Разрушительные автоколебания крыльев самолетов вследствие возникновения положительной обратной связи между их аэродинамическими и инерционными характеристиками [9].
Взрывы ракетных двигателей	1930 – 1985	Возникновение высокочастотных автоколебаний в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей в процессе сгорания топлива [10, 11].
Шимми носового колеса самолета	1939 – 1945	Автоколебания самоориентирующегося носового колеса самолета вследствие возникновения положительной обратной связи между его опорными и инерционными характеристиками [12].

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Разрушение Такомоского моста	1940	Разрушительные изгибно-крутильные автоколебания Такомоского подвесного моста вследствие возникновения положительной обратной связи между его ветровыми и инерционными характеристиками [3, 9].
Затягивание в пикирование на околозвуковых скоростях полета	1943 – 1947	Смещение фокуса крыла самолета назад при приближении скорости полета к скорости звука [13].
Перепроектирование ракет-носителей для уменьшения их размеров	1960 – 2017	Ограничение размеров гигантских ракет-носителей вследствие быстрого и нелинейного увеличения акустических нагрузок при росте их масштабов [14].
Чернобыльская катастрофа	1986	Паровой взрыв ядерного реактора из-за положительной реактивности его активной зоны при вскипании водяного теплоносителя [3, 15].
Саянская катастрофа	2009	Разрушительные автоколебания напорной системы Саяно-Шушенской ГЭС вследствие возникновения между ее гидродинамическими и энергетическими характеристиками положительной обратной связи [2].

В случае негативной эмерджентности непосредственных разработчиков неудавшейся системы, обычно, нельзя винить в произошедшем, так как катастрофы такого типа связаны с процессами, которые были им просто неизвестны. При этом теоретическое или, по крайней мере, эмпирическое понимание этих процессов возникает после проведения научно-исследовательских работ, инициированных именно этими катастрофами. После этого подобные причины возможных в будущем инцидентов следует перевести из раздела «Негативная эмерджентность» в раздел «Несистемность», и уж в этом случае разработчики должны в полной мере нести ответственность за свою некомпетентность. Интересно отметить, что в 5 из 10 рассмотренных случаев инциденты связаны с разными видами автоколебаний – видимо, такие положительные обратные связи являются очень сложно выявляемыми до тех пор, пока сами не проявятся неожиданно для всех, кто имеет отношение к системе с негативной эмерджентностью. Вдобавок, затягивание в пикирование и Чернобыльская катастрофа также были вызваны процессами с положительной обратной связью, но, развивавшимися достаточно монотонно, без заметных колебаний. Такие процессы обычно называют автокаталитическими.

Рассмотрим раздел 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». Этот раздел классификатора был выявлен только при полноценном системном подходе к структурированию системных проблем и никак не проявился при эмпирическом рассмотрении проблем, обративших на себя внимание на тот момент. Однако после выделения этого раздела классификатора легко обнаружили запланированные 10 примеров для его наполнения.

Таблица 7-3 – Внутренний ресурсный тупик

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Неудача с нацистской ядерной бомбой	1939 – 1945	Использование в качестве замедлителя исключительно тяжелой воды, не имевшейся в Германии в нужном количестве, вследствие ошибки Боте из-за его экспериментов с графитом, загрязненным бором, который является сильнейшим поглотителем нейтронов [16].
Невозможность боевого применения первого термоядерного устройства Айви Майк	1952	Невозможность боевого применения этого устройства была вызвана использованием дейтерия в жидком криогенном виде, а не в виде твердого соединения с литием, как в последующих термоядерных зарядах [17].
Взрывы ракет-носителей с большим числом двигателей	1969 – 1981	Большая вероятность аварии на старте в связи с недостаточной надежностью ракетных двигателей [2, 18, 19]. Проблема решена в 2018 году.
Провал проекта РСjr компании IBM – предшественника ноутбуков	1983	Слишком малый размер клавиатуры [3]. Проблема была решена при создании современных ноутбуков.

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Заккрытие программы малозаметного палубного штурмовика А-12	1983 – 1990	Невозможность создать внешние обводы, удовлетворяющие как аэродинамическим требованиям, так и требованиям малой заметности. Невозможность создания покрытия самолета, устойчивого к воздействию морской воды [3, 20].
Массовый выход из строя холодильников компании GE с турбокомпрессорами	1986	Недолговечность ротора турбокомпрессора, выполненного для снижения затрат методом порошковой металлургии [3].
Отказ от экранопланов	1991	Невозможность создать крыло одновременно и узкое (аэродинамически эффективное), и широкое (обеспечивающее необходимую высоту для полета с экранным эффектом над неровной поверхностью) [21, 22].
Неудача с проектом Биосфера-2	1991 – 1994	Неконтролируемое размножение микроорганизмов, что привело к непрерывному снижению содержания кислорода в атмосфере комплекса Биосфера-2 и разрушению его экосистемы [23].
Гибель Спейс Шаттла Колумбия	2002	Недостаточная прочность вспененного покрытия внешнего топливного бака, что привело к повреждению передней кромки крыла аппарата и его гибели при возвращении на Землю [3, 24].
Отказ от твердотопливной пилотируемой ракеты-носителя Ares-1	2010	Недопустимо большие для пилотируемого носителя вибрации при работе его твердотопливного ракетного двигателя [25].

Данная причина системных проблем легко структурируется далее (если это потребуется) с разделением на проблемы подсистем, которые:

- принципиально не могут быть решены в рамках данной системы (примером является крыло экраноплана);
- решаются заменой подсистемы на более подходящую (первым потенциально боевым твердофазным термоядерным зарядом с дейтеридом лития – так называемой «листочкой», стала «слойка» Сахарова уже в 1953 году [26]);
- решаются повторным появлением прежних подсистем на более высоком уровне развития технологии (ракета-носитель Falcon Heavy с 27 работающими двигателями на старте, ноутбуки, малозаметные палубные самолеты типа F-35C).

Можно отметить, что подобная причина экологических проблем не была зафиксирована в книге [4], несмотря на десятки примеров коллапсов древних и современных человеческих сообществ. И это, по-видимому, вполне объяснимо – наличие внутреннего ресурсного тупика либо не позволяет системе возникнуть вообще, либо приводит к ее быстрой гибели. И если что-то подобное происходило на уровне экологии ранее, то никаких заметных следов в истории не оставило. Только неудача эксперимента, проведенного на наших глазах – Биосферы-2, дала экологический пример внутреннего системного ресурсного тупика.

Перейдем к разделу классификатора d) «Несистемность на надсистемном уровне – неблагоприятное влияние факторов существующего окружения на функционирование системы (неблагоприятный интерфейс системы)».

Таблица 7-4 – Несистемность на надсистемном уровне

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Советские предвоенные истребители	1939 – 1941	Неверные представления о характере боевых действий в будущей воздушной войне, которые привели к неадекватной структуре истребительной авиации в ее начале [2].
Легкий одномоторный бомбардировщик Су-2	1941	Невозможность эффективных действий в условиях господства в воздухе вражеской авиации, что привело к быстрому прекращению его производства [27].
Баллистическая ракета V-2	1942 – 1945	Отвлечение на разработку, создание и боевое применение ресурсов, которые могли бы быть использованы на производство значительно более эффективных в войне видов оружия [28].

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Коммерческий провал автомобиля Edsel компании Ford	1957 – 1959	Восьмилетние (с 1948 по 1956 год) разработки компанией Ford престижного массового автомобиля среднего класса, которые привели к созданию «пожирателя бензина», не пользовавшегося спросом на рынке [3].
Асуанская плотина и озеро Насер	1960 – 1970	Асуанская плотина, образовав озеро Насер, перекрыла ежегодные поступления плодородного ила из верховьев реки в ее дельту, что приводит к постепенному разрушению дельты Нила – житницы Египта, а также требует постоянного использования химических удобрений [29].
Вьетнамская война	1965 – 1972	Американское общество явно продемонстрировало нежелание нести такие тяготы, которые считались вполне приемлемыми еще совсем недавно в ходе Корейской войны (1950 – 1953) [3, 30].
Коммерческий провал нового напитка New Coke компании Coca Cola	1988	Попытка компании Coca Cola расширить рынок продаж своих напитков, имитировав вкус популярного напитка компании Pepsi Cola, привела к быстрому перетеканию покупателей к конкуренту [3].
Провал миссии UNIFOR в Боснии	1992 – 1995	Силы ООН по защите мирного населения Боснии при всей своей подготовке оказались недостаточными количественно для эффективного противодействия местным вооруженным формированиям [3].
Коммерческая неудача спутниковой системы связи Иридиум	1999	Использование компанией Motorola аналоговой системы для спутниковой телефонии в условиях быстрого развития более перспективных цифровых систем привело к неудаче этой программы [3].
Потеря рынка самолетом-аэробусом А-380	2005 – н. в.	Неоправдавшиеся представления компании Airbus о трансконтинентальных пассажирских авиаперевозках через аэропорты-хабы как об оптимальном способе их организации [31].

Отметим здесь только то, что советские гидроэнергетики, спроектировав Асуанскую плотину на Ниле, как бы «отомстили» египетским мелиораторам за засоление ими Междуречья (см. таблицу 7-2), также оказавшись в положении пришельцев, не вполне осознающих местные условия. При этом последний по времени казус отнесен не к негативной эмерджентности, а к несистемности интерфейса, потому что для гидроэнергетиков система всего хозяйства Египта не является тем, из чего они должны были исходить при проектировании ГЭС. Этим должен был бы заниматься какой-то более высокий государственный орган, которого в наличии, как следует из всего произошедшего, не оказалось, хотя было общеизвестно, что движение плодородного ила из верховьев реки вниз по течению в ее дельту – житницу страны обеспечивало урожаи в Египте в течение 5 тысяч лет. И вряд ли требовалось проводить серьезные научные изыскания для понимания того, что выключение этого природного конвейера не является хорошим проектным решением. Так что это – довольно явный пример очевидной несистемности (то есть головоуятия, как любил формулировать в Советском Союзе) на надсистемном уровне.

Здесь, как и в комментарии к таблице 7-1 можно отметить, что, несмотря на развитие системной инженерии в последние десятилетия, ошибки, связанные с несистемностью инженерных разработок как на системном, так и на надсистемном уровнях не прекращаются, и их постоянно продолжают совершать, в том числе, и лидеры в системной инженерии – NASA и Airbus.

Рассмотрим теперь раздел классификатора е) «Изменение сценария – непредсказуемое, неблагоприятное и ранее не существовавшее влияние факторов изменившегося окружения на функционирование системы (неблагоприятное изменение интерфейса)». Он, в некотором смысле, является аналогом раздела «Негативная эмерджентность», только здесь неблагоприятные и непредсказуемые связи возникают уже между системами. То есть, при переходе на более высокий уровень рассмотрения раздел е) просто переходит в раздел б).

Таблица 7-5 – Изменение сценария

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Македонская фаланга	350 – 168 гг. до н. э.	Беспомощность сплошного строя фаланги на пересеченной местности против более гибкого расчлененно-сомкнутого строя римского легиона [2].
Поселения викингов в Гренландии	984 – 1435	Малый ледниковый период, который привел к резкому ухудшению жизни в Гренландии, изоляции от Европы и гибели колонии викингов [4].
Линкоры дредноутного типа	1906 – 1941	Бессилие пушек и брони линкоров против палубной авиации [2].
Истребитель Зеро	1942 – 1944	Господство на Тихоокеанском театре военных действий японского палубного истребителя Зеро над любым противником в ближних маневренных боях (Dog fights) в 1942 году и его беспомощность против атак новых американских истребителей на пикировании (Boom-zoom) в 1944 году [32].
Стратегические сверхзвуковые крылатые ракеты	1950 – 1964	Неконкурентоспособность стратегических сверхзвуковых крылатых ракет после появления межконтинентальных баллистических ракет и баллистических ракет морского базирования [33, 34].
Программа сверхзвукового пассажирского самолета Конкорд	1976 – 2003	Коммерческое использование самолета Конкорд оказалось чрезмерно дорогим в условиях резкого роста цен на топливо [3].
Программа Спейс Шаттл	1981 – 2010	Экономическая неэффективность пилотируемых носителей типа Спейс Шаттл при резком снижении числа запусков в связи со сложностью межполетного обслуживания и изменением приоритетов американской космической программы [35].
Кризис мировой ядерной энергетики	1986 – н. в.	Изменение критериев надежности ядерных энергетических блоков после Чернобыльской катастрофы, и рост внимания общества к экологии [36].
Атака Международного центра торговли в Нью-Йорке	2001	Конструкция зданий оказалась неспособной противостоять террористической атаке с использованием крупных и почти полностью заправленных пассажирских самолетов [3].
Северо-восточный американский энергетический коллапс	2003	Рост деревьев вблизи линий электропередач при пренебрежении эксплуатантов к необязательным стандартам по очистке линий от насаждений, что и явилось «спусковым крючком» коллапса [3].

Кажется, что представленные примеры достаточно самоочевидны. Хочется сделать только одно замечание: японский истребитель Зеро путь от «абсолютного оружия – короля воздуха» к состоянию «индейки», на которую идет почти безопасная охота, преодолел за рекордно короткий срок – примерно за 2 года.

И напоследок перейдем к разделу классификатора f) «Внешний ресурсный тупик – ограничения возможностей системы в рамках надсистемы (то же, что и границы развития или пределы роста)».

Таблица 7-6 – Внешний ресурсный тупик

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Голод и катастрофическое снижение численности населения на острове Пасхи	1400 – 1600	Потеря пищевых ресурсов, в первую очередь, из окрестного океана из-за отсутствия лодок, вызванная гибелью лесов, пошедших на производство веревок, стропил и салазок, нужных для постройки ритуальных комплексов в виде гигантских статуй – моаи [4].
Исчерпание «генетического ресурса» населения острова Питкэрн	1500 – 1700	Изоляция острова, которая привела к вымиранию его немногочисленного населения из-за отсутствия притока «свежей крови» [4].
Тюльпанная лихорадка, МММ и биткойн	1636 – 2018	Обрушение растущей финансовой пирамиды при выходе ее на ресурсные границы [37 – 39].

Событие/процесс/явление	Год	Причина
Крах русской кампании Наполеона	1812	Невозможность обеспечить снабжение французской армии, что привело к практически полной ее потере от холода и голода, несмотря на захват Москвы и выигрыш французами всех крупных сражений [40].
Итоги кампании 1941 года на Восточном фронте	1941	Зимнее поражение наступавших германских войск, вызванное их истощением из-за недостатка резервов, обусловленного недооценкой противника и распылением имевшихся ресурсов [41].
Карибский кризис	1962	Стремление быстро изменить соотношение сил между СССР и США в области стратегических вооружений при отсутствии на тот момент у СССР реальных экономических возможностей это сделать [42, 43].
Истребители пятого поколения	1986 – н. в.	Невозможность из-за дороговизны постройки достаточного количества таких истребителей для обеспечения всех необходимых операций [2].
Космический телескоп Хаббл	1990	Отсутствие испытаний системы в целом на Земле из-за нехватки финансирования, что привело к необходимости модернизации телескопа на орбите в условиях открытого космоса [3].
Геноцид в Руанде	1994	Крайняя нехватка земли в связи с быстрым ростом населения, усугубленная этническим конфликтом племен хуту и тутси [4].
Прекращение постройки Суперколлайдера	1995	Перерасход во время строительства Суперколлайдера имевшихся средств, который привел к потере политической поддержки проекта, дальнейшему снижению финансирования и его полной остановке [3].

Здесь пока нашлось не слишком много примеров технических проектов, по-видимому, из-за того, что по настоящему крупные и сложные системы такого рода стали создавать сравнительно недавно, если не считать таковым строительство больших архитектурных сооружений типа мегалитических дольменов, египетских пирамид или Великой китайской стены. Но о тех временах, кажется, известно недостаточно для того, чтобы уверенно классифицировать такие объекты и их проблемы с системной точки зрения. Однако, в самое последнее время стали появляться технические системы высочайшего технологического уровня, которые все более и более часто начинают испытывать внешние ограничения, в основном пока, финансового характера (телескоп Хаббл, Суперколлайдер, истребители пятого поколения). А на системном уровне, относящемся к жизни различных человеческих сообществ и, особенно, к крупным боевым операциям, ресурсные ограничения, превращающие победу в поражение – это обыденная реальность. Отсюда следует, что системные инженеры в настоящее время должны пройти хотя бы краткий курс истории войн и военного искусства. Если бы это уже было сделано, то тогда бы тяжелая судьба нового технического шедевра – большого космического инфракрасного телескопа Джеймс Уэбб [44] могла бы быть заметно легче.

VIII. Заключение

Конечно, 60 представленных примеров не являются доказательствами того, что предлагаемая структура является полной и правильной, а только полезными разъяснениями общих принципов ее построения. Однако, то, что не было найдено ни одного примера, который нельзя было бы разместить на ней, а также то, что в принципе и невозможно их найти в связи со способом построения структуры классификатора, является искомым доказательством. Следует также отметить, что негативная эмерджентность системы и ее эквивалент на надсистемном уровне – изменение сценария, в гуманитарной парадигме получили название Черного лебедя. Остальные 4 типа событий – по-видимому, так называемые Серые лебеди [45].

Возможно, не всякий читатель согласится с распределением описанных 60 событий, процессов или явлений по 6 разделам классификатора общих системных проблем. Отчасти это может быть связано с уровнем, на котором он их может рассматривать. Например, коллапс человеческого сообщества на острове Пасхи, вызванный потерей доступа к пищевым ресурсам окружающего остров океана, отнесен автором к внешнему ресурсному тупику. Но, если рассмотреть экосистему острова с примыкающими к нему водами в целом, то все произошедшее должно описываться просто как проявление несистемности вследствие безумной растраты жителями острова слабо возобновляемого ресурса – леса для достижения совершенно иррациональных целей – доминирования каждого из их кланов над другими посредством чрезвычайно ресурсоемких обрядов. Как известно, эта своеобразная ритуально-мистическая «холодная война» на острове,

выразившаяся в создании более сотни каменных платформ – аху с почти 9 сотнями огромных статуй предков – моаи, переросла в горячую войну, и все закончилась голодом, каннибализмом и полным крахом всего островного сообщества, после чего все моаи были повалены, а аху – разрушены [4]. К таким результатам приводит иногда неумение системно решать встающие перед обществом проблемы.

Следует отметить, однако, что системные инженеры, отвечающие за их решение, обычно заранее точно знают уровень рассмотрения той системы, с которой они должны работать, и это упрощает определение встающих перед ними проблем, особенно, как можно надеяться, при использовании классификатора, предлагаемого в данной работе. Однако, очень желательно, чтобы решаемые проблемы были именно теми, которые необходимо решать, а не теми, которые существуют только в мозгах разработчиков системы, но не в реальности.

IX. Выводы

1. На основе системных принципов и анализа требований построен верхний уровень общего классификатора системных проблем.
2. Классификатор является непротиворечивым, полным и правильным, что подтверждено размещением в нем всех рассматривавшихся объектов или явлений, которые привели к инцидентам, авариям или катастрофам, а также тем, что не найдено проблемных объектов или явлений, которые не могли бы быть в нем размещены.
3. Классификатор применим к системным проблемам технического, экологического и общественно-политического характера.
4. Положение проблемы в системе классификации зависит от уровня науки и технологий на момент разработки данной системы. С течением времени по мере накопления знаний возможен переход проблем с более сложных для разработчика уровней на более простые (от незнания к беспорядку). То есть, систематика проблем является относительной и зависящей от времени.
5. С течением времени относительная важность проблем из отдельных разделов классификатора для разработчика может меняться.
6. Показано, что только обобщение эмпирического материала без использования методов системной инженерии при построении функциональных и логических описаний сложных систем не гарантирует, что созданная система будет непротиворечива, полна и правильна.
7. При необходимости возможно построение следующих уровней классификатора.

Литература

1. M. Diehl, M. Hornung – Requirements Engineering of a Micro-UAV Defense System. *IEEE Xplore*, 2017, p. 1 – 8 // <https://ieeexplore.ieee.org/document/7934731/>
2. Ю. И. Лобановский – Несистемность – источник критических проблем при проектировании сложных систем. *Synerjetics Group*, 2018 // <http://www.synerjetics.ru/article/nonsystems.pdf>
3. A. T. Bahill, S. J. Henderson – Requirements, Development, Verification, and Validation Exhibited in Famous Failures. *Wiley InterScience, Syst Eng* 8, p. 1 – 14, 2005 // <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sys.20017>
4. Дж. Даймонд – Коллапс. Москва, АСТ, 2010 // <https://www.e-reading.club/book.php?book=1006586>
5. М. McConnell – Challenger – A Major Malfunction: A True Story of Politics, Greed, and the Wrong Stuff. Doubleday Religious Publishing Group, 1987.
6. K. Wong – What Grounded the Airbus A380? *Cadalist*, 6 Dec, 2006 // <http://www.cadalyt.com/management/what-grounded-airbus-a380-5955>
7. Л. Н. Гумилев – Кто разрушил Вавилон? в кн. «Этногенез и биосфера Земли», 1987 // <https://history.wikireading.ru/3527>
8. А. Мовчан – Экономические истории. Часть 1. Как рабы разорили Русь. *Сноб*, 2014 // <https://snob.ru/selected/entry/75126>
9. С. Кузьмина, П. Карклэ – Эолова арфа, самолеты и мосты. *Наука и жизнь*, N 5, 2009 // http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430811
10. Валье, Макс. *Википедия* // https://ru.wikipedia.org/wiki/Валье,_Макс
11. ЖРД РД-170 (11Д521) и РД-171 (11Д520). *НПО Энергомаш* // <http://www.lpre.de/energomash/RD-170/index.htm>
12. В. М. Келдыш – Шимми переднего колеса трехколесного шасси. *Труды ЦАГИ*, выпуск 564, 1945.
13. Г. А. Амирьянц – Летчики-испытатели. Сергей Анохин со товарищи. Москва, Машиностроение, 2001 // <https://litlife.club/bd/?b=236414>
14. Разбор критики Interplanetary Transport System. *Geektimes*, 2017 // <https://geektimes.ru/post/293541/>
15. INSAG-7. Чернобыльская авария. Дополнение к INSAG-1. *Доклад Международной Консультативной группы по ядерной безопасности*. Международное агентство по ядерной энергии, Вена, 1992.

16. Н. А. Bethe – The German Uranium Project. *Physics Today Online*. Volume 53, Number 7, July 2000 // <http://www-personal.umich.edu/~sanders/214/other/news/Bethe.html>
17. Ivy Mike. *Wikipedia* // https://en.wikipedia.org/wiki/Ivy_Mike
18. Б. Е. Черток – Ракеты и люди. Лунная гонка. Книга 4. Москва, Машиностроение, 1999.
19. OTRAG. *Wikipedia* // <https://en.wikipedia.org/wiki/OTRAG>
20. М. Котов – Лучший военный распил двадцатого века. *Warhead*, 2018 // https://warhead.su/2018/01/05/luchshiy-voennyi-raspil-dvadsatogo-veka?utm_source=warfiles.ru
21. Д. Кюхеман – Аэродинамическое проектирование самолетов. Москва, «Машиностроение», 1983.
22. Советский ударный экраноплан «Лунь»: история создания, описание и технические характеристики. *MilitaryArms.ru* // <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/lun/>
23. Биосфера-2: неудавшийся эксперимент создания замкнутой экосистемы. *Родовид*, 2016 // <https://rodovid.me/ecoposelenia/biosfera-2-neudachnyy-eksperiment-sozdaniya-zamknutoy-ekosistemy.html>
24. Space Shuttle Columbia disaster. *Wikipedia* // https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_Columbia_disaster
25. А. Klamper – NASA Finalizes Ares 1 Vibration Fix. *SpaceNews*, 2009 // <http://spacenews.com/nasa-finalizes-ares-1-vibration-fix/>
26. Г. Горелик – «Лидочка Гинсбург» и другие термоядерные идеи. *Наука и жизнь*, N 3, 2010 // http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431002/Lidochka_Ginzburg_i_drugie_termoyadernye_idei
27. Су-2: самолет, незаметный во всех смыслах слова (часть 2). *Военное обозрение*, 2017 // <https://topwar.ru/114449-su-2-samolet-nezametnyy-vo-vseh-smyslah-slova-chast-2.html>
28. А. Шпеер – Воспоминания. Военная литература, 1997 // http://militera.lib.ru/memo/german/speer_a/index.html
29. М. Маковецкий – Асуанская плотина: экологические последствия. *Проза.ру*, 2010 // <https://www.proza.ru/2010/04/05/497>
30. Расстрел в Кентском университете. *Википедия* // https://ru.wikipedia.org/wiki/Расстрел_в_Кентском_университете
31. А. Гурков – Airbus бьет рекорды и готов прекратить выпуск самолета-гиганта A380. *Deutsche Welle, Экономика*, 2018 // <http://www.dw.com/ru/airbus-бьет-рекорды-и-готов-прекратить-выпуск-самолета-гиганта-a380/a-42154885>
32. С. Сакаи, М. Кайдин, Ф. Сайто – Самурай! Военная литература, 2005 // http://militera.lib.ru/memo/other/sakai_s/index.html
33. М. Д. Евстафьев – Долгий путь к «Буре» (о создании межконтинентальных ракет «Буря» и «Буран»). Москва, Вузовская книга, 1999 // <http://www.astronaut.ru/bookcase/books/evstafiev/text/>
34. G. Herken – The Flying Crowbar. *Air & Space Magazine*, vol. 5, no 1, April/May 1990 // <http://www.merkle.com/pluto/pluto.html>
35. R. Pielke, Jr. – Space Shuttle Value Open to Interpretation. *Aviation Week & Space Technology*, vol. 139, no 4, 1993.
36. А. Ожаровский – Производство ядерной энергии в мире сокращается на 2 % в год. *Bellona*, 2010 // <http://bellona.ru/2010/05/07/proizvodstvo-yadernoj-energii-v-mire-s/>
37. Тюльпаномания. *Википедия* // <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тюльпаномания>
38. МММ. *Википедия* // <https://ru.wikipedia.org/wiki/МММ>
39. А. Комраков – Соцсети ополчились на криптовалюту. Трейдеры нашли признаки грядущего грандиозного обвала цены биткойна. *Независимая Газета*, 19.03.2018 // http://www.ng.ru/economics/2018-03-19/1_7192_bitcoin.html?id_user=Y
40. А. Епатко – Наполеон о русской кампании 1812 года. *Наука и жизнь*, N 8, 2012 // <https://www.nkj.ru/archive/articles/20982/>
41. К. фон Типпельскирх – История Второй мировой войны. Москва, АСТ, 1999.
42. Карибский кризис. *Википедия* // https://ru.wikipedia.org/wiki/Карибский_кризис
43. М. Макарычев – Еж для американцев. 45 лет назад мир оказался на пороге ядерной войны. *Родина*, 2007 // <https://rg.ru/2007/10/25/cuba-krizis.html>
44. James Webb Space Telescope. *Wikipedia* // https://en.wikipedia.org/wiki/James_Webb_Space_Telescope
45. Н. Н. Талей – Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости. Москва, КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2-е издание, 2012.