

## Роль Противоречия в Творческом Проектировании

А.Г. Курьян  
шеф по научным исследованиям  
фирма ADKS  
Республика Беларусь, Минск

ММММ, гг

### Аннотация

В статье обсуждается противоречие, имеющее место между проектным прототипом и ограничениями задачи при творческом проектировании. Рассматриваются существующие пути устранения этого противоречия и обсуждаются их недостатки. В статье предлагается структура знаний - технический эффект, с помощью которой в единой форме описываются проектный прототип, ограничения задачи, а также противоречие между ними. Предлагается процедура устранения противоречия, основанная на представлении знаний в виде технических эффектов, которая позволяет снизить уровень сложности задачи за счет преобразования задачи творческого проектирования в одну или несколько задач инновационного и/или рутинного проектирования.

### Введение

С процедурной точки зрения проектирование есть решение задачи по поиску такой конфигурации физических элементов в системе, которая может обеспечить выполнение требуемых функций и удовлетворяет ограничениям задачи [Alberts, 1991].

Предметная область задачи проектирования включает различные категории знаний о проектируемой технической системе: функции, ограничения, структуру и др. J. Gero предложил структуру знаний - проектный прототип, который есть "концептуальная схема для представления класса обобщенных разрозненных групп элементов отделенных от похожих проектных схем, которая обеспечивает основу для начала и продолжения процесса проектирования. Проектный прототип обеспечивает основу для объединения все требуемых для проектирования знаний в единую схему" [Gero, 1990, p.30].

### Проектный прототип

В проектном прототипе (P) выделяются основные категории знаний: функции (F), структура (S) и поведение (B). В проектном прототипе используются реляционные знания (Kr), которые описывают явные зависимости между переменными в категориях функций, структуры и поведения. В проектном прототипе используются ограничения (C), которые используются для решения задачи.

Проектный прототип P может быть символически представлен в виде  $Rep(P) = (F,S,B,Kr,C)$ .

Процедура решения проектной задачи состоит в порождении примеров проектного прототипа и проверки соответствия между ними и ограничениями задачи. Для различных типов проектирования эта процедура существенно различна.

## Творческое проектирование

В настоящее время используется классификация типов проектирования, которая включает

- \* рутинное проектирование,
- \* инновационное проектирование,
- \* творческое проектирование.

Рутинное и инновационное проектирование характеризуются наличием хорошо определенной области возможных примеров проектного прототипа.

Существенным для творческого проектирования является отсутствие в области возможных примеров проектного прототипа тех, которые удовлетворяли бы ограничениям проектной задачи. В этом случае мы можем говорить о том, что имеет место конфликт между проектным прототипом и ограничениями задачи. В проектировании используется несколько подходов, направленных на изменение проектного прототипа, чтобы расширить область возможных примеров проектного прототипа.

### Изменение проектного прототипа

Один путь состоит в добавлении новых переменных в описание проектного прототипа [Gero, 1990]. Этот процесс может рассматриваться как создание нового проектного прототипа. В большинстве случаев новый проектный прототип является изменением старого. Однако возможны случаи, когда новый прототип не связан со старым. Такие ситуации возникают, когда проектный прототип создается без существующих ранее прецедентов, например создание первого самолета или автономного подземохода [Саламатов, 1990].

Другой путь был реализован в системе CYCLOPS, разработанной в MIT для инновационного проектирования [Sriram, 1989]. Он состоит в поиске примеров проектного прототипа за границами области примеров за счет использования Pareto-Optimal A\* Алгоритма. Этот путь основан генерировании примеров при смягченных ограничениях проектного прототипа, лежащих вне границ области примеров.

Оба подхода направлены на расширение границ области примеров проектного прототипа. Но критерии, используемые в них, непосредственно не направлены на устранение противоречия между проектным прототипом и ограничениями задачи. Из-за этого применение любого из подходов не дает гарантий, что после расширения границ области примеров в ней окажется пример, который удовлетворит ограничениям задачи.

Далее мы рассматриваем принципиально иной подход, который основан на методах устранения противоречия, используемых в ТРИЗ .

### ТРИЗ

Начиная с сороковых годов русский инженер Г.С. Альтшуллер и его коллеги разрабатывали теорию решения задач творческого проектирования, называемую ТРИЗ. Основой ТРИЗ являются результаты анализа мирового патентного фонда в области техники [Альтшуллер, 1979; 1986], которые состоят в следующем:

- \* Технические системы развиваются в соответствии с закономерностями, которые необходимо учитывать при решении задач проектирования;

\* Наиболее важная закономерность состоит в том, что развитие технических систем происходит в направлении увеличения их степени идеальности (другими словами, в сторону увеличения способности системы выполнять полезные при одновременном упрощении поведения и структуры системы);

\* Другая важная закономерность состоит в том, что принципиально новые решения в технической системе появляются в результате устранения в ней технических противоречий.

Основные методы в ТРИЗ базируются на выявлении и устранении в технической системе технического противоречия.

**Техническое и Физическое Противоречие**

Из-за системной природы техники всякое изменение, которое вносится в какую-либо часть технической системы, сказывается, чаще всего отрицательно, на других ее частях. Ситуации, когда попытки улучшить одну часть (или один параметр) технической системы приводит к ухудшению другой ее части (или другого параметра), в ТРИЗ принято называть техническим противоречием.

Пример . При попытке усовершенствовать степень защиты радиотелескопа от молний с помощью установки одного или нескольких молниеотводов - металлических заземленных проводников. Техническое противоречие имеет следующую форму: если установить много молниеотводов, они надежно защищают радиотелескоп от молний, но поглощают радиоволны. Если установить мало молниеотводов (или не устанавливать ни одного), то нет (заметного) поглощения радиоволн, но радиотелескоп не защищен от молний.

Механизм возникновения технического противоречия в системе связан с неравномерностью развития отдельных частей системы [Саламатов, 1990]:

1. возникает потребность в увеличении способности технической системы выполнять полезные функции;
2. для увеличения способности выполнять полезные функции требуется усилить (выделить) какое-то свойство элемента или части системы;
3. при усилении одних свойств элемента нарушается взаимодействие (согласованность) с другими элементами, возникает противоречие;
4. противоречие разрешается появлением новых взаимосвязей, элементов или частей в системе, при этом достигается новый уровень согласованности между элементами системы.

В различных отраслях техники часто встречаются типовые технические противоречия: снижение веса технического объекта вступает в противоречие с его прочностью, повышение производительности технологической операции вступает в противоречие с точностью.

В основе технического противоречия между двумя частями технической системы лежит физическое противоречие: в технической системе выделяется одна часть, к физическому состоянию которой предъявляются взаимопротиворечивые требования.

Пример. В задаче о защите радиотелескопа от молний выделено следующее физическое противоречие: молниеотвод должен быть проводящим, чтобы осуществлять защиту радиотелескопа от молний, и должен быть непроводящим, чтобы не экранировать радиоволны.

## Устранение Противоречия

Для устранения противоречия в ТРИЗ имеется методика, называемая Алгоритм Решения Изобретательских Задач.

Основу методики составляют рекомендации по анализу и устранению противоречия. Рекомендации ориентируют человека на поиск минимального изменения технической системы, при котором противоречие устраняется. Для этого методика рекомендует максимально использовать уже имеющиеся в технической системе ресурсы - вещества, энергии, времени, пространства, структуры и т.д.

Методика содержит эвристические приемы, которые позволяют резко сократить поиск нужного изменения технической системы, чтобы устранить противоречие. Вот несколько приемов: разделить противоречивые свойства в пространстве, во времени, использовать фазовые превращения вещества.

\*\*\*

Мы не ставим своей целью в данной статье привести подробное описание методики АРИЗ и отсылаем заинтересованных лиц к литературе [Альтшуллер, 1979; 1986]. В плане рассматриваемых в статье вопросов нас интересуют следующие свойства технического и физического противоречия:

\* в техническом противоречии в явном виде представлена связь между функциями и поведением технической системы, которая лежит также и в основе конфликта, возникающего при решении задач творческого проектирования;

\* в физическом противоречии выделяется только одна часть технической системы, целенаправленное изменение которой позволит устранить противоречие.

На наш взгляд, эти свойства технического и физического противоречия могут быть использованы для создания эффективной процедуры изменения проектного прототипа, необходимой при решении задач творческого проектирования, а именно

1. минимально изменять проектный прототип (только небольшую его часть), а значит минимально увеличивать пространство состояний примеров проектного прототипа;
2. гарантировать исчезновение конфликта между проектным прототипом и ограничениями задачи, а значит, превращать задачу творческого проектирования в задачу инновационного или рутинного проектирования

### Conflict Framework

В данном разделе мы предлагаем framework для представления противоречия в проектном прототипе. Использование этого или подобного framework обеспечивает разделение знаний, описывающих творческую задачу в проектном прототипе и процессом вычисления изменения проектного прототипа.

### Полезная функция и недостаток

В противоречии эксплицируется полезная функция технической системы, которая должна быть усилена, и недостаток, который появляется в результате изменений технической системы.

Полезная функция и недостаток отражают соответственно некоторый положительный и отрицательный результат, который должен быть достигнут в

технической системе, демонстрирующей определенное поведение и обладающей определенной структурой.

Рассматривая полезную функцию и недостаток, как результат проявления поведения и структуры технической системы, мы можем утверждать, что противоречие в явном виде представляет отношения между функциями и недостатками (положительным и отрицательным результатами выраженными в виде функции и недостатка, называемого также вредная функция), с одной стороны, и поведением и структурой, с другой стороны. При этом техническое противоречие представляет отношение между функциями и поведением технической системы; физическое противоречие - отношение между функциями и структурой технической системы.

Для представления отношений между функциями и поведением и структурой, мы используем понятие "технический эффект".

Технический эффект

Под техническим эффектом П.С. Энгельмейер понимал "любой полезный результат, получаемый в технической системе и удовлетворяющий потребности человека" [Энгельмейер, 1910]. Однако, это определение достаточно абстрактно и не дает возможности построить формальную модель понятия.

Наш подход базируется на объединении в рамках единой концептуальной схемы представления поведения и структуры технической системы и функций, выражающих результат поведения и проявления структуры. Под техническим эффектом мы будем понимать любой результат, который может быть описан как выполнение функции, которое достигается в результате соответствующего поведения технической системы, обладающей соответствующей структурой.

В символическом виде технический эффект (EE) может быть записан следующим образом

$$\text{Rep}(EE) = (B,S) \rightarrow F$$

где символ  $\rightarrow$  есть обозначение отношения "в результате".

Пример . В тепловой трубе перемещение тепла обеспечивается за счет способности нагретого водяного пара перемещаться по трубе из зоны с повышенным давлением, где водяной пар образуется за счет испарения воды, в зону с пониженным давлением (fig. 1). В этой системе выполняется функция перемещения тепла. Также мы можем наблюдать в системе выполнение функции - образование пара. Эти функции выражаются следующими техническими эффектами: i) эффектом образования водяного пара и ii) эффектом перемещения пара. Эти эффекты основаны на физических эффектах: i) на эффекте фазового превращения жидкости в газ и ii) на эффекте перемещения газа из зоны с высоким давлением в зону с низким давлением.

Fig.1. A heat pipe.

Технический эффект является положительным или отрицательным, если результат эффекта выражается в виде соответственно полезной функции или недостатка (вредной функции)

$$EE+ = (B,S) \rightarrow F+,$$

$$EE- = (B,S) \rightarrow F-.$$

Пример.

Противоречие

Основываясь на понятии технического эффекта, мы можем определить техническое противоречие ЕС как пару пересекающихся положительного  $EE+$  и отрицательного  $EE-$  технических эффектов

$ES = EE+ * EE-$ .

Пример. В системе защиты радиотелескопа от молний техническое противоречие может быть представлено как пересечение двух эффектов: положительного эффекта - молниеотвод взаимодействует с молнией, в результате молния уничтожается, и отрицательного эффекта - молниеотвод взаимодействует с радиоволнами, в результате радиоволны экранируются.

Противоречие для Изменения Проектного Прототипа

Процедура для изменения проектного прототипа при решении задач творческого проектирования, основанная на устранении противоречия, представляет собой последовательность следующих шагов:

1. Представить проектный прототип в виде множества технических эффектов  $\{EE_m: i=1, M\}$ ;
2. Используя ограничения задачи, пометить каждый технический эффект  $EE_i$  как положительный или отрицательный и сформировать множество  $\{EE_{mx}: i=1, M\}$ , где X есть + (для положительного эффекта) или - (для отрицательного эффекта);
3. Проанализировать множество  $\{EE_{mx}: i=1, M\}$  найти пересекающиеся пары положительных и отрицательных эффектов, из которых сформировать множество противоречий  $\{ES_n: k=1, N\}$ ;
4. Выполнить процедуру поиска изменения проектного прототипа, при котором исчезнут найденные противоречия.

В 1993 году в рамках программы научно-исследовательской работы, проводимой по заказу Госкомпрома Республики Беларусь была разработана экспериментальная система для решения инженерных задач, в которой реализованы шаги 1-3 процедуры изменения проектного прототипа.

Заключение

С нашей точки зрения, создание процедуры изменения проектного прототипа, основанного на выявлении и устранении противоречий, позволит преобразовать задачу творческого проектирования в задачи инновационного или рутинного проектирования без значительного увеличения пространства состояний примеров проектного прототипа.

В настоящее время актуальной является задача поиска изменения проектного прототипа, которое приводит к устранению противоречий в нем.

На наш взгляд, использование результатов, полученных в ТРИЗ и их интеграция с результатами, полученными в области решения проектных задач, позволит разработать такую процедуру.

Literature

[Alberts, 1991] M. Alberts. YMIR: an Ontology for Engineering Design. Twente University, 1991.

[Альтшуллер, 1986] Г.С. Альтшуллер. Найти идею. Введение в Теорию Решения Изобретательских Задач. Новосибирск: Наука, 1986 (Russian).

[Энгельмейер, 1910] П.К. Энгельмейер. Теория творчества. СПб: Северо-Запад, 1910.

[Gero, 1990] J.S. Gero. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. AI Magazine, winter, 1990, p. 26-36.

[Саламатов, 1990] Ю.П. Саламатов. Система законов развития техники/ в сборнике "Шанс на приключение" под ред. Селюцкого. Петрозаводск: Карелия, 1990 (Russian).

[Саламатов, 1984] Ю.П. Саламатов, И.М. Кондраков. Идеализация технических систем. На примере развития технической системы "тепловая труба". Красноярск, 1984.

[Sriram, 1989] D. Sriram, G. Stephanopoulos and others. Knowledge-Based System Applications in Engineering Design: Research in MIT. AI Magazine, fall, 1989, p. 79-96.