

## КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОБРАЗА НОВОГО ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Л.А. Козлов

Формирование образа объекта проектирования является обязательным этапом ранних стадий проектирования независимо от того, какой реализуется подход к проектированию – целеполагающий или целеобслуживающий. При целеполагающем подходе характеристики изделия определяет сам разработчик, при целеобслуживающем – заказчик. Под ранними стадиями проектирования будем понимать деятельность конструкторского бюро, начиная от первой мысли о необходимости создания нового изделия и завершая построением компоновочного чертежа. Основными фигурами в формировании образа нового изделия являются главный конструктор и его ближайшее окружение, включая ведущего компоновщика. Несмотря на доминирующую роль главного конструктора, рассматриваемый процесс является коллективным. Это обстоятельство осложняет реализацию компьютерной поддержки деятельности указанных специалистов. Осложняющим фактором является также необходимость рассматривать образ объекта проектирования с трех достаточно различных точек зрения: эпистемологической (теоретико-познавательной), логической и когнитивной. Основные теоретические положения, имеющие отношение к данной проблеме, изложены в трудах К. Поппера, Т. Куна, М. Вертгеймера, Г. Фреге, Дж. Брунера, Д. Поспелова, Р. Солсо. Интересные подходы к структурированию сложных проблем описаны в публикациях трудов Института проблем управления РАН [1].

Приступая к рассмотрению проблемы формирования образа объекта проектирования, важно учитывать, что сегодня сложилось мнение о существовании ряда познавательных моделей эпистемологической направленности. Согласно работе [2] ими являются: нулевая, схоластическая, механическая,

статистическая, системная и диатропическая. Эти модели могут оказаться полезными при формировании подхода к рассмотрению любой проблемы, исходя из профессиональной специфики. Поэтому процесс формирования образа объекта проектирования следует начинать с выбора подходящей эпистемологической модели или некоторого сочетания моделей, лучшим образом отражающего особенности познавательных процессов в конкретной области знания. Далее необходимо сформулировать парадигму в трактовке Т. Куна [3] применительно к рассматриваемой области знания, в рамках которой должно появиться новое изделие. Это означает, что нужно выявить и конкретизировать доминирующие в данный момент положения аксиоматического толка, ценностные ориентиры и характерные технологии, включая информационные. Затем средствами категориального анализа необходимо выявить категориальные понятия, играющие в данном случае ключевую роль. Все это конкретизирует и осязательно суживает область рассмотрения.

Если подходить с логической точки зрения, то важно учитывать, что на протяжении значительного промежутка времени существовало направление так называемого "логического психологизма", которое допускало психологизацию логического. Это направление, связанное с именем Куна Фишера, было подвергнуто критике Готтлобом Фреге, который говорил, что "надлежит резко отличать психологическое от логического, субъективное от объективного" [4]. Для нашего рассмотрения представляет интерес то, что, создавая свое логическое исчисление, Г. Фреге отошел от философской традиции начинать логику с учения о понятии и на его базе переходить к суждениям и умозаключениям. Фреге начинает с суждений и умозаключений и, отправляясь от них, обращается к понятиям и их объемам-множествам, которые выступают у него

результатом акта абстракции. Понятия истолковываются им как функции в математическом смысле, т. е. функции, аргументами которых являются предметы, а значениями - абстрактные объекты "истина" и "ложь", которым он дал название "значений истинности" [4]. Такой подход позволил Г. Фреге построить логику высказываний и предикатов как единую систему. Самая ранняя дедуктивно-аксиоматическая система исчисления предикатов принадлежит Г. Фреге. Его аксиоматика фактически усвоена современной классической математической логикой.

Применительно к нашим рассуждениям можно сделать вывод, что при логическом подходе может иметь место двойственность рассмотрения. С одной стороны, это может быть зарекомендовавшая себя традиционная логика Аристотеля, с другой стороны, - логика Г. Фреге, доведенная к настоящему времени до уровня логики предикатов в комплексе с языком логического программирования Пролог, обеспечивающим возможность автоматизации логического вывода.

Для изложения подхода к проблеме формирования образа объекта проектирования целесообразно обратиться к концептуально - терминологической конструкции, которая хотя и не формулировалась Г. Фреге, но тем не менее связывается с его именем. Речь идет о широко известном ныне "семантическом треугольнике", называемом также "треугольником Г. Фреге". Эта конструкция отражает отношение, существующее между знаком (именем), именуемым предметом и смыслом имени. Компоненты этой конструкции известны также под названиями: "знак", "денотат" и "концепт" [5]. Если вдуматься в смысл компонентов треугольника Г. Фреге, то можно прийти к мысли, что эта модель может оказаться действенным инструментом в решении рассматриваемой нами проблемы. Компонент "знак" может означать наименование того изделия, которое предстоит спроектировать. Он может также представлять множество его составляющих. Компонент "концепт" (conceptus mentis - понятие) означает "смысл знака", это по сути то, что мы ищем. Н. Н. Моисеев исходный образ объекта проектирования называет концепцией изделия [6]. Остается рассмотреть компонент "денотат" или значение знака. Когда мы имеем материальный объект, то именно он и соответствует этому понятию. Но на ранних

стадиях проектирования, когда объекта как такового пока не существует в материальной реализации, с этим понятием могут иметь место осложнения. Понятиям "денотат" и "концепт" по сути соответствуют мысленные образы. Может иметь место мнение, что эти понятия идентичны. Различать их может, по-видимому, лишь степень завершенности. Когда мы говорим о концепции изделия, то это означает, что у нас есть вполне определенное мнение о том, что предстоит спроектировать. Но это мнение не появляется сразу, иногда его формирование превращается в долгий мучительный процесс размышлений и анализа. В ходе таких размышлений образ изделия, о котором мы думаем, постоянно трансформируется, обретая различные смысловые наполнения и, естественно, различные очертания. Многие из них мы отвергаем, но некоторые фиксируем для более глубокого анализа. Вот этот образ изделия, который пока что не является завершенным, мы будем соотносить с понятием "денотат".

В [1] также используется понятие треугольника Г. Фреге для изучения слабоструктурированных проблем. Здесь же вводится понятие "признаковая модель", соответствующая компоненту треугольника "знак", и "денотационная модель", соответствующая сразу двум компонентам треугольника "денотат" и "концепт". Такой подход, по-видимому, оправдан спецификой исследуемого объекта.

В нашем случае из соображений, изложенных выше, эти понятия следует разнести. Мы будем вести речь о "признаковой модели", "модели денотата" и "концептуальной модели". Построение признаковой модели и модели денотата будет носить когнитивный характер, т. к. в том и другом случае основой для построения моделей является множество мнений профессионалов. Это множество мнений является исходным материалом для когнитивного моделирования. В процессе когнитивного моделирования, исходя из сложившейся ситуации, прогнозов на будущее, собственных возможностей, на основе использования комплекса когнитивных моделей (Ж. Пиаже, П. Жане, Э. Клапареда, К. Левина и др.) определяются цели проектирования и сценарии их достижения [7]. Признаковая модель изначально соответствует классическому понятию "определение" из логики Аристотеля, но позднее в нее вносятся дополнения,

## КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОБРАЗА НОВОГО ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

характерные для понятия “схема” по У. Нейсеру [8]. Признаковая модель строится в три этапа. Профессионалу (конструктору) предлагается построить кортеж, состоящий из ключевой сущности, например, объекта проектирования, и множества значимых ее характеристик (атрибутов). Мы называем компоненты кортежа “унарными высказываниями”. Затем эти высказывания объединяются в “бинарные высказывания”, которые также имеют конкретный смысл для профессионала. По сути строится некоторая вербальная структура, отражающая видение профессионалом объекта проектирования. Так как бинарные высказывания по своей структуре аналогичны посылкам силлогизма, то они могут быть использованы в многопосылочной, многоуровневой схеме вывода типа “сорит” по Л. Кэрроллу [9]. Специальное программное обеспечение на основе этих посылок порождает множество выводов [7]. Эти выводы описывают объект проектирования во всевозможных аспектах, вытекающих из посылок. Нередко выводы оказываются неожиданными для специалиста, сформулировавшего посылки и сформулировавшего бинарные отношения.

Модель, соответствующая “денотату”, представляет собой иерархию семантических сетей с переходом от уровня к уровню по “диссонирующему звену”, т. е. по понятию, которое требует к себе повышенного внимания. Эта модель также основана на видении профессионалом имеющей место ситуации, но она к тому же отражает подход специалиста к достижению цели, т. е. является отражением его когнитивной карты. Это обстоятельство позволяет нам называть данную структуру когнитивно ориентированной иерархией семантических сетей. Достоинство модели в том, что она дает представление о том, как решить задачу или о том, почему на данном этапе ее решить нельзя. Модель, соответствующая “концепту”, или “концептуальная модель”, представляет собой совмещение признаковой модели и модели денотата. Модель действительно соответствует этому названию, т. к. благодаря содержательному наполнению и используемой мнемонике профессионал сразу же видит текущее положение дел. Если в прямоугольнике, отображающем некоторую значимую сущность, появляется квантификатор “Е” (ни один S не есть P), то это означает, что при стремлении достичь некоторой характеристики, выбранной профессионалом

в качестве ключевой, помеченная квантификатором “Е” сущность достигнута быть не может. Если же появился квантификатор “О” (некоторый S не есть P), то будут иметь место осложнения при достижении этой характеристики. Важно отметить, что сорит обладает интересным свойством. Если кортеж составлен специалистом, хорошо знающим суть вопроса, то сорит выводит на верхние уровни значимые для профессионала сущности. Он дает также возможность установить, какими квантификаторами интересующая профессионала сущность связана с другими сущностями, что используется при построении концептуальной модели. Ориентация на модель “треугольник Г. Фреге” позволяет создать понятную для предметных специалистов методологию формирования концепции объекта проектирования. Полученные результаты тем не менее не снимают задачи поиска формального аппарата и подходящей символики для представления знаний, ведения рассуждений и отражения результатов, достигнутых в процессе формирования образа объекта проектирования. Особенностью ведения рассуждений на ранних стадиях проектирования является тесное переплетение эпистемического знания, эмпирического знания и знания, обретенного в результате последовательности логических выводов. Существует вполне сформировавшееся мнение, что наиболее совершенным аппаратом представления знаний является исчисление предикатов и его подраздел первопорядковая логика. Логика предикатов представляет различные средства формализации и анализа правильности дедуктивных рассуждений. Важнейшими ее средствами можно считать: строгий синтаксис, возможность установления однозначного соответствия между описываемым объектом и его представлением в языке, возможность получения обоснованных выводов из представления знаний. По мнению ряда исследователей, логика предикатов достаточно выразительна, но не универсальна. Некоторые знания, считают они, можно формализовать только в языках высших порядков. Типичными для научно-технического текста классами выражений, которые считаются неподдающимися интерпретации в языке логики первого порядка, являются: термины оценки интенсивности, термины временных

отношений, термины изменений, наречия – модификаторы (медленно, долго, быстро и др.). Но существуют и другие мнения. Так, в [10] В.Ш. Рубашкин показал, что эти трудности преодолеваются. Кроме рассмотренного эпистемического аспекта возможны и другие аспекты рассмотрения: дедуктивный аспект, аспект эффективности, использование в качестве формализма ссылок, использование в качестве анализа знаний [11]. Указанные аспекты несомненно важны, но и они не исчерпывают всей проблемы. Не менее важным является когнитивный аспект рассмотрения проблемы, т. к. именно он определяет степень приемлемости формального аппарата для профессионала-конструктора. Проведенный анализ говорит о том, что понятия логики предикатов, такие как константы, переменные, предикатные имена, функциональные имена, пропозициональные функции и связи, термы, правильно построенные формулы и т. д. сочетаются с когнитивными картами квалифицированных конструкторов. Хотя, естественно, необходимы определенные усилия для соотнесения мира понятий конструктора с нередко новыми для него понятиями логики предикатов. Отсутствие видимых препятствий к применению первопорядковой логики в познавательной деятельности конструктора делает целесообразным осуществление символизации когнитивных моделей, в эффективности которых мы имели возможность убедиться на практике. Поддается символизации также иерархия когнитивно ориентированных семантических сетей по всем уровням иерархии, что устраняет возможность неоднозначности толкований.

В задачах прикладного характера, ориентированных на синтез образа объекта, действия, поведения и т. п., где логика играет существенную роль, можно встретить понятия типа “модель мира”, “модельные миры”, “истины в модели” и т. п. На стадии концептуального проектирования понятие “возможный мир” следует рассматривать в качестве рабочего, которое можно интерпретировать как “возможное направление развития событий”. Подобное понятие включает в себя дескриптивную и модальную составляющие. Дескриптивная составляющая описывает несколько возможных положений дел, а модальная составляющая дает ту или иную оценку тому, что происходит. Примером подобной

логической конструкции может служить “модельное множество” Я. Хинтики. Иногда эти множества называют хинтиковскими [12]. Понятие модельного множества вводится формулированием в символическом исчислении предикатов пяти условий, смысл которых понятен, но автор не дает объяснения, в чем причина эффективности подобной конструкции, в то время как по отзывам других публикаций она имеет место. Такой подход, хотя и соответствует установке Д. Гильберта использовать при доказательстве непротиворечивости математические формулы, от которых не требуется, чтобы отдельные из них “сами по себе были изъяснимы” [13], все-таки осложняет использование на практике аппарата модельных множеств. Тем не менее, наш ограниченный опыт работы с этими множествами позволяет говорить о их полезности в процессе формирования концепции нового изделия, особенно в ситуациях, осложненных множеством различных трактовок.

Удобным логическим аппаратом, хорошо понимаемым инженерами, оказалась клаузальная логика. Запись клаузы, в которой явно выделяются альтернативы решений и посылки, их порождающие, удобна и понятна.

На практике были проработаны некоторые подходы к описанию образа объекта проектирования средствами исчисления предикатов первого порядка и языка Пролог. Возможные схемы перехода от знаний профессионала к формальному их описанию можно представить в следующем виде:

1. Знания профессионала - исчисление предикатов первого порядка - клаузальная логика – Пролог.

2. Знание профессионала - семантическая сеть - исчисление предикатов первого порядка – Пролог.

Возможен укороченный вариант, когда переход к языку Пролог реализуется помимо символизации семантической сети в терминах первопорядковой логики. Этот подход предполагает непосредственную запись выражений, присутствующих в семантической сети. Введение правил, указывающих связь различных сущностей друг с другом, позволяет работать с Пролог-системой в режиме вопросно-ответного взаимодействия. В процессе перехода от знаний проектировщика к программе на языке Пролог уместна любая из указанных схем. Предпочтение следует отдавать первой

## КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОБРАЗА НОВОГО ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

схеме, по причине ее основательности. Методику, базирующуюся на применении программного обеспечения “сорит”, и “Пролог-систему” следует рассматривать как взаимодополняющие механизмы при формировании концептуального образа объекта проектирования.

Концептуальный образ объекта проектирования, поэтапно представленный вербальной моделью, моделями теории знаковых систем (признаковой моделью, моделью денотата и концептуальной моделью), а также рассмотренными логическими конструкциями, должен перерасти в целостный образ объекта проектирования в инженерном понимании. В качестве такого образа можно рассматривать компоновочный чертеж, отвечающий требованию реальности. Это означает, что на его основе можно создать работоспособное изделие. Компоновочный чертеж, разработанный после выполнения проектных расчетов, является предельно возможным на данной стадии проектирования целостным образом будущего изделия. Он дает многофакторное, многоплановое представление о будущем изделии и его компонентах. Подобные образы носят название паттернов [14].

Проблема формирования целостного образа некоторого объекта интеллектуальной деятельности далеко не нова. Она рассматривается в качестве одной из важнейших в гештальттеории (гештальтпсихологии). Применительно к исследуемой проблеме можно констатировать, что если мы признаем факт возможности существования некоторой субстанции (изделия, системы и т. п.) и рассматриваем ее как целое, то мы должны признавать существование внутренних структурных законов, неотъемлемо связанных с осуществлением этого целого. Далее следует, что именно эти законы определяют характеристики составляющих это целое элементов, которые позволяют этому целому существовать. Таким образом, целостная структура как бы выделяет своим составляющим “ниши” в виде некоторых достаточно строго очерченных рамок. Если составляющий компонент не выходит за рамки существования, ему отведенные, то система продолжает благополучно существовать, т. е. функционировать. В имеющей место практике проектирования приемлемость узла для изделия обычно определяется фактом его

работоспособности, а диапазон возможности его существования не прорабатывается. Более того, в условиях реализации метода “встречной волны”, при ограниченных сроках проектирования, в новом изделии нередко оказывается значительное количество весьма ненужных узлов. Это обстоятельство, возможно, является причиной того, что новое изделие обычно обладает значительным диапазоном непредвиденного поведения в процессе эксплуатации. Наблюдается как бы несоответствие локальных образов компонентов изделия глобальному образу изделия в целом. Средством преодоления подобных осложнений может явиться хорошо проработанная система компьютерной поддержки совместной деятельности ведущего компоновщика и расчетной группы конструкторского бюро с использованием когнитивного моделирования и когнитивной графики.

Ключевой фигурой в завершении процесса формирования образа нового изделия на ранних стадиях проектирования является ведущий компоновщик конструкторского бюро. Именно он призван объединить множество трактовок, рассмотренных выше, в единый образ изделия, в качестве которого можно рассматривать компоновочный чертеж. Именно поддержка деятельности ведущего компоновщика представляется наиболее привлекательной, и именно ее организовать труднее всего. Несколько неожиданным представляется мнение самих компоновщиков высокого уровня квалификации о возможности создания системы такой поддержки. При этом они выдвигают условие необходимости персонификации этой поддержки. Изучение данного вопроса говорит о существовании ряда модельных миров компоновщика [7], подобных тем, которые рассматривает К. Поппер [15]. Можно говорить о предметном мире компоновщика, о мире состояний, позволяющем манипулировать пространственными образами, о мире знаний и мышления в субъективном смысле и о мире “знаний без познающего субъекта” в трактовке К. Поппера [15]. Поддержка в рамках предметного мира представляется в виде репрезентативной базы данных с интерфейсом, ориентированным на компоновщика. Поддержка в рамках мира состояний может быть реализована путем создания компьютерной модели трансформирующегося компоновочного

чертежа. При изменении конфигурации или размеров какого-либо компонента компьютерная модель компоновочного чертежа должна перестраиваться в рамках общей топологии изделия. Этот подход опробован нами на примере компоновки двухпоточного редуктора отбора мощности для дизеля ОАО “Алтайдизель” [7].

Поддержка в рамках мира знаний и мышления в субъективном смысле является самой сложной, которая должна строиться на основе когнитивного моделирования. Сегодня можно только говорить о более или менее удачных примерах поддержки отдельных достаточно узких аспектов такой деятельности. Нами был опробован подход, основанный на идее построения паттернов оценки работоспособности изделия, базирующихся на компонентах знаковой системы конкретной области знания. Так, на основе диаграмм, отражающих изменение сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме дизеля, в функции угла поворота коленчатого вала, мы строим трехмерные поверхности. Одна из координат отражает изменение частоты вращения коленчатого вала в интересующем исследователя диапазоне. Такая поверхность по сути соответствует скоростной характеристике дизеля. Специальное программное обеспечение позволяет выбрать любой ракурс рассмотрения. На одних и тех же координатных осях размещаются графические образы, соответствующие новому изделию и изделию-прототипу. Превышение уровня поверхности, соответствующей прототипу, является основанием для проверки расчетным путем прочностных характеристик конкретных деталей. Расчет осуществляется на основе метода конечных элементов. Программные комплексы, реализующие этот метод, нередко оснащены графической мнемоникой (иногда в цвете), позволяющей оценить уровень допустимости напряжений. Структура динамического расчета кривошипно-шатунного механизма, комплекс графических образов в виде трехмерных поверхностей и мнемоника метода конечных элементов, отражающая нагрузку конкретных деталей рассматриваемого механизма, являются в комплексе паттерном оценки работоспособности механизма. Профессионал на основе анализа подобного паттерна может быстро оценить “текущее положение дел”.

Компоновщик по ходу работы над компоновочным чертежом может вносить в него коррективы.

Такой подход позволяет также реализовать схему “обратного вывода”, когда на основе данных, полученных в результате испытаний и эксплуатации прототипа, мы можем выйти на общую структуру изделия, сделать выводы о имеющихся в ней недостатках и устранить их в новом изделии. Важно, что это можно делать уже на уровне построения компоновочного чертежа [7]. Поддержка “мира знаний без познающего субъекта” представляется в виде хорошо организованной, профессионально ориентированной базы знаний.

Описанный в статье подход опробован на конкретном материале. И хотя различные методики прошли неодинаковую степень апробации, мы имели возможность убедиться в их приемлемости и полезности на практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прангишвили И.В., Абрамова Н.А., Спиридонов В.Ф., Коврига С.В., Разбегин В.П. Поиск подходов к решению проблем. – М.: СИНТЕГ, 1999. - 284 с.
2. Чайковский Ю. В. Познавательные модели // Знание - сила. 1993. - №4. - С.105-111.
3. Кун Т. Структура научных революций. - М.: Прогресс, 1994. - 300 с.
4. Фреге Г. Логика и логическая семантика. - М.: Аспект пресс, 2000. - 512с.
5. Шрейдер Ю.А. Логика знаковых систем. – М.: Знание, 1974. – 64с.
6. Моисеев Н. Н. Математика ставит эксперимент. - М.: Наука, 1979. - 222 с.
7. Козлов Л. А. Когнитивное моделирование на ранних стадиях проектной деятельности. Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. - 248 с.
8. Найсер У. Познание реальности. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 210 с.
9. Кэрролл Л. История с узелками. - М.: Мир, 1973. - 407 с.
10. Рубашкин В.Ш. Представление и анализ смысла в интеллектуальных информационных системах. – М.: Наука, Гл.ред. физ.-мат.лит. 1989. - 192 с.
11. Тей А., Грибомон П., Луи Ж. и др. Логический подход к искусственному интеллекту. – М.: Мир, 1990. - 432 с.
12. Хинтика Я. Логико-эпистемологические исследования. - М.: Прогресс, 1980. - 450с.
13. Гильберт Д. Основания геометрии. - М.:Л., 1948.
14. Солсо Р. Л. Когнитивная психология. - М.: Тривола, 1996. - 598 с.
15. Поппер К. Логика и рост научного знания. - М.: Прогресс, 1983. - 608 с.