

Будущее CAD-систем

Проблемы развития CAD-систем

CAD-системы представляют собой большой и нечетко определенный класс программных инструментальных средств, предназначенных для поддержки процесса проектирования. Как правило, в результате применения современных CAD-систем проектировщик получает параметрическую модель, а также совокупность чертежей и спецификаций, достаточную для изготовления объекта.

В дальнейшем вы увидите, что область применения существующих CAD-систем является только одной и далеко не самой важной стадией полного процесса проектирования в общем понимании данного вида деятельности. Примечательно, что сами проектировщики вынуждены проходить **все** требуемые стадии создания нового объекта, причем наиболее сложные из них — "в уме", что не позволяет определить проектирование иначе как ремесло.

Таким же образом и развитие CAD-систем идет по пути совершенствования автоматизированной поддержки только одной из имеющихся стадий процесса проектирования, а наиболее результативные этапы такого процесса находятся вне рамок данного развития. В этом-то и состоит главная проблема.

Обзор и классификация методов проектирования

Проектирование в общем плане является целенаправленной творческой деятельностью, приводящей к решению задачи создания искусственного способа удовлетворения определенной человеческой потребности. Если эту потребность возможно удовлетворить посредством какого-либо технического объекта (или их совокупности), действующего под управлением или по заданию человека, то можно говорить о техническом проектировании такого объекта.

Используемые в настоящее время в повседневной инженерной практике методы проектирования делятся на две группы.

К первой относятся логические методы проектирования, позволяющие путем

четко определенной последовательности действий на основании имеющихся требований к конструкции получить описание требуемого уровня ее детальности. Эти методы глубоко предметно специфицированы. Они основаны на большом опыте проектирования в области применения и полном осознании ее закономерностей. Применение этих методов позволяет получить типовые конструкции, подобные по принципу действия и соотношению параметров. В большинстве случаев именно такие методы закладываются в основу CAD-систем.

Ко второй группе относятся методы проектирования, применение которых возможно в случае необходимости получения принципиально нового, нетривиального проектного решения. Эти методы основаны на стимулировании творческих способностей человека, его интуитивного мышления, и получили название эвристических [1, 2]. Ввиду того что эвристическая последовательность операций является набором общих рекомендаций и правил и принципиально не может быть конкретизирована, наиболее рациональным способом автоматизированной поддержки эвристического проектирования следует считать сбор, обработку и представление в различных формах относящейся к процессу проектирования инфор-

мации. В то же время на практике в коммерческих разработках инструментальных средств проектирования такие методы как раз и не поддерживаются. Таким образом, в области автоматизированного проектирования наблюдается парадокс: наиболее результативные методы проектирования не поддерживаются соответствующими инструментальными средствами.

Независимо от того, методы какой группы используются, как правило, выполняется попытка разделить процесс проектирования на стадии. Это возможно не всегда. Разделить процесс проектирования не удастся тогда, когда он целиком выполняется на интуитивном уровне. В противном случае наиболее общим следует признать деление процесса проектирования на этапы дивергенции, трансформации и конвергенции [3] (рис. 1). Следует подчеркнуть, что это деление относится не к объекту проектирования, который сам по себе может представлять развитую иерархию, а к процессу проектирования как объекта целиком, так и любой его составной части.

Дивергенция — это стадия расширения границ проектной ситуации с целью обеспечения достаточного пространства для поиска проектных решений. В техническом проектировании дивергентный поиск означает изучение всех воз-

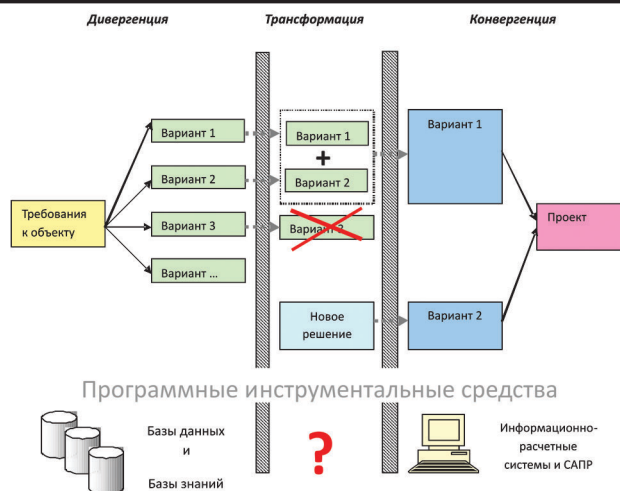


Рис. 1. Этапы обобщенного процесса проектирования

Используемые на практике методы проектирования

Таблица 1

№	Наименование метода	Цель
1.	Упорядоченный поиск	Решить задачи проектирования логической достоверностью
2.	Системотехника	Добиться внутренней совместимости между элементами системы и внешней окружающей средой
3.	Поиск границ	Найти пределы, в которых лежат приемлемые решения
4.	Кумулятивная стратегия Пейджа	Увеличить затраты проектировщиков на анализ и оценку – процессы, носящие кумулятивный и конвергентный характер, и уменьшить затраты на некумулятивные усилия по синтезу решений, которые могут оказаться непригодными, то есть исключить необходимость разрабатывать «плохие» проекты, чтобы научиться создавать «хорошие»
5.	Переключение стратегий	Добиться, чтобы спонтанное мышление влияло на организованное и наоборот
6.	Фундаментальный метод Мэтчела	Научить проектировщика понимать и контролировать свой образ мысли и более точно соотносить его со всеми аспектами проектной ситуации
7.	Формулирование задач	Охарактеризовать внешние условия, которым должен отвечать проектируемый объект
8.	Поиск литературы	Отыскать опубликованную информацию, полезную для будущих проектных решений, которую в дальнейшем можно получить своевременно и без лишних затрат
9.	Выявление визуальных несоответствий	Определить направления, по которым должен идти поиск путей совершенствования конструкторского решения
10.	Интервьюирование потребителей	Собрать информацию, известную только потребителям данного изделия или системы
11.	Системные испытания	Определить действия, способные привести к желаемым изменениям сложной проектной ситуации
12.	Накопление и свертывание данных	Накопить и представить данные о проектной ситуации в форме, стимулирующей выработку решения
13.	Мозговая атака	Стимулировать группу лиц для быстрого генерирования большого количества идей без критической оценки
14.	Синектика	Направить спонтанную деятельность мозга на исследование и преобразование проектной проблемы путем исследования необычных аналогий специально подобранной группой лиц
15.	Ликвидация тупиковых ситуаций	Найти новые направления поиска, если очевидная область поиска не дала приемлемого решения
16.	Морфологические карты	Расширить область поиска решений проектной проблемы путем определения перечня выполняемых изданием функций с последующим перечислением альтернативных средств их осуществления и выбором приемлемого решения
17.	Матрица взаимодействий	Обеспечить систематический поиск взаимосвязей между элементами в рамках данной проблемы
18.	Сеть взаимодействий	Отобразить и упростить сеть взаимосвязей между элементами в рамках проектной проблемы
19.	Трансформация системы	Найти способы изменения структуры системы с целью ликвидации присущих ей недостатков
20.	Проектирование путем смещения границ	Сместить границы нерешенной проектной проблемы, чтобы для ее решения можно было использовать знания из смежных областей
21.	Проектирование новых функций	Создание радикально новой конструкции, способной привести к появлению новой потребности
22.	Определение новых компонентов по Александру	Найти правильные физические компоненты конкретной структуры, которые можно было бы изменять независимо друг от друга в соответствии с изменением среды
23.	Классификации проектной информации	Разделить проектную проблему на поддающиеся решению части
24.	Контрольные перечни	Дать проектировщикам сведения о требованиях, которые были признаны релевантными в аналогичных ситуациях
25.	Выбор критериев	Установить критерии приемлемости проектного решения

можных принципиальных решений проблемы без их оценки на соответствие результата требованиям, предъявляемым к объекту.

Трансформация – стадия выбора концептуальной схемы нового объекта. Результатом этой стадии является критическое осмысление информации, собранной на стадии дивергентного поиска. Методы трансформации носят ярко выраженный эвристический характер. Среди них – мозговая атака, метод "ликвидации тупиковых ситуаций" [3] и др. Механизмы инсайда (творческого озарения), являющиеся ключевым звеном трансформации, изучены недостаточно.

Конвергенция – стадия отбора и оценки концепций на основании требований, предъявляемых к объекту, устранения мелких противоречий. Результатом конвергенции является получение единственного варианта проекта. Конвергенция – целиком логический этап, который легко поддается автоматиза-

ции. Среди методов конвергенции – ранжирование и взвешивание, свертка и оценка по критериям, оптимизация проектных параметров и др. Применяемые в настоящее время методы последовательного логического проектирования носят, в основном, конвергентный характер.

Степень общности деления процесса проектирования на этапы такова, что многие используемые на практике методы проектирования нельзя с уверенностью отнести к какой-либо одной стадии. Некоторые из применяемых методов аккумулируют в себе несколько стадий проектирования или игнорируют некоторые стадии, вынося их за рамки метода. И все же существует возможность указать, какую стадию проектирования существующие методы поддерживают в наибольшей мере.

Для выполнения такого таксономического деления приведем сначала с краткой аннотацией наиболее употребитель-

ные на практике методы проектирования по Джонсу [3] (таблица 1).

Теперь попытаемся распределить вышеуказанные методы по стадиям проектирования, поддерживаемым каждым методом наилучшим образом (рис. 2).

Рассмотрев результат распределения, можно сделать вывод о том, что большое количество методов (в нашем случае в этом таксоне группируется наибольшее количество методов) наилучшим образом поддерживает этап трансформации обобщенного процесса проектирования. Применив подобный подход к таксономическому делению методов проектирования в аспекте эвристический-логический, получим распределение, приведенное на рис. 3.

Сопоставив приведенные выше таксономические деления в аспектах этапов обобщенного процесса проектирования и их эвристической или логической направленности, можно сделать вывод о том, что практически все методы транс-

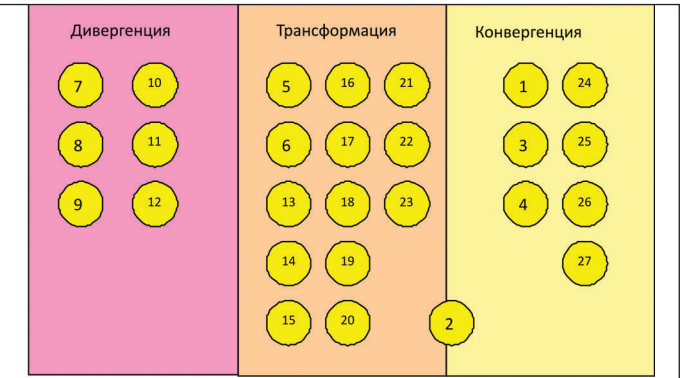


Рис. 2. Распределение методов проектирования по стадиям

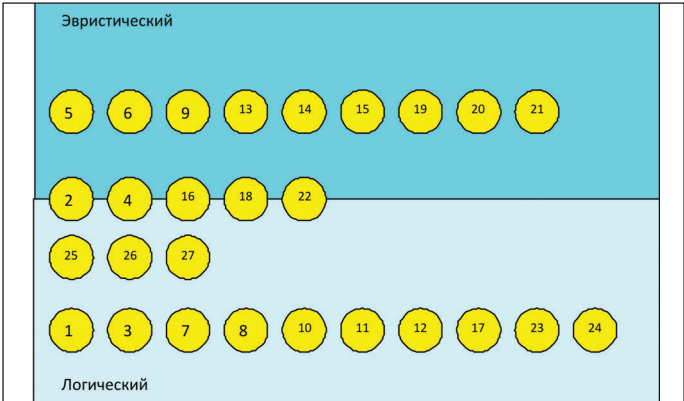


Рис. 3. Эвристические и логические методы проектирования

формации являются эвристическими. Этот важный методологический вывод позволит в дальнейшем определить принципы построения архитектуры общего процесса проектирования, степень детализации которого достаточна для реализации в программном продукте.

Исходя из предыдущих рассуждений, можно сформулировать способ преодоления основной проблемы развития САД-систем: создание универсального метода поддержки дивергентного этапа проектирования, а также метода поддержки эвристических рассуждений на этапе трансформации проектного решения, совместимых с инструментальными средствами проектирования, применяемыми на этапе конвергенции. Такой подход позволит построить полноценную, комплексную технологию проектирования, охватывающую все стадии этого процесса.

Какие же методы необходимо использовать при создании комплексной технологии проектирования?

Прежде всего, системологию [4].

Системы. Использование системной парадигмы при создании новых объектов

Системология переносит центр внимания исследователя с природы и назначения (свойств) объектов на их внутреннюю организацию и изучение способов этой организации. Уровень общности объектов в системологии выше, чем в предметных науках, что позволяет проводить более глубокие аналогии. Как вы увидите далее, для наших целей это очень пригодится.

Системологический подход используется не только для изучения и описания естественных систем различного рода [5], но и для построения предсказательных моделей объектов [6].

Несмотря на продолжительное развитие системологии, до сих пор не существует общепризнанного понятия "система". В.Н. Садовский [7] приводит 40 различных вариантов данного определения. Вопрос о реальности материальных систем [4] и определении этого понятия выходит за рамки нашего рассмотрения. Следует только заметить, что трудности в конкретно-научном определении понятия системы связаны с тем, что оно принадлежит к первичным категориям, которыми не манипулируют конкретные науки, и только системология да еще философия претендуют на эту интегрирующую роль. Для наших целей достаточно сведения системности к методическому принципу, заключающемуся в выборе некоего способа изучения объектов, инвариантного к их предметной специфике.

Такого принципа придерживается Дж. Клир, цитируя определение В. Гейнса:

"Система — это то, что различается как система" [5]. То есть система — это некая идеальная модель объекта, используемая для его познания [7].

С этих позиций системное описание может выступать как метод моделирования знаний.

Для технических систем применительно к моделированию знаний возможно сформулировать и использовать следующие принципы системологии.

Принцип эмерджентности гласит, что свойства системы не выводятся из свойств ее составных частей [4]. Иначе говоря, свойства системы есть продукт взаимодействия ее составных частей.

Из этого принципа многие исследователи выводят понятие системы.

Принцип эмерджентности может использоваться как критерий для вычленения системы из предметной области. В нашем случае он позволяет связать описание свойств и структуры системы, то есть цель и решение задачи проектирования.

Принцип целостности утверждает, что связь между элементами внутри системы сильнее, чем между любым из них и объектами внешней среды, не включенными в систему. Данный принцип позволяет идентифицировать систему как объект с определенными эмерджентными свойствами. При этом системный подход смыкается с редукционизмом. Целостность также может являться основанием для выделения системы из предметной области.

Применительно к нашим целям данный принцип позволяет провести ограниченное описание объекта без потери содержательности, то есть наиболее эффективно использовать принцип постоянной неполноты знаний. По этому же принципу можно устанавливать соответствие системной модели и реального объекта, то есть правильно интерпретировать знания.

Принцип рекурсии свидетельствует, что каждый элемент системы в свою очередь является системой. Иначе говоря, понятие элемент является относительным. Этот принцип тесно связан с первыми двумя, потому что элемент *выделяется* на основании свойства целостности и *наделяется* свойствами на основании принципа эмерджентности.

Относительность элемента означает возможность существования описаний системы на нескольких уровнях абстракции, то есть потенциальное наличие иерархии структур системы.

Применительно к информационному обеспечению принцип рекурсии позволяет снять ограничения на структурную сложность описываемых систем и использовать один и тот же программно-алгоритмический аппарат для поддержки описания различных частей системы.

Этот принцип позволяет поддерживать постоянную неполноту знаний "вглубь".

Исходя из предыдущих рассуждений, можно сформулировать приемлемую в нашем случае системную парадигму: применительно к объектам проектирования понятие "система" используется как описательный принцип, согласно которому объекты представляются как искусственно выделенные рекурсивные структуры, эмерджентные свойства которых являются продуктом взаимодействия их составных частей. В дальнейшем вы увидите, что именно системная парадигма позволяет правильно выстроить дивергентный этап проектирования объектов.

Выше мы часто использовали термин "знания". Давайте определим это понятие.

Данные и знания

Суть мышления заключается в манипулировании концептами. **Концепты** — это мысленные представления человека об объектах и связях окружающего мира. Чтобы уменьшить количество концептов при манипулировании ими (тем самым сделав процесс мышления быстрее или экономнее), человек создает новые концепты, объединяющие несколько различных концептов по тому или иному признаку. Такие объединенные концепты называются **понятиями**. Процесс объединения концептов в понятия и понятий в понятия более высокого уровня называется **абстракцией**. Если вышеуказанный признак, используемый для объединения концептов, не связан с взаимодействием объектов, то он называется свойством. Часто концепты абстрагируются по признаку взаимодействия между собой или с человеком (например, понятие "посуда"). **Свойство**, таким образом, является некоторой абстрактной категорией, используемой человеком для образования определенных видов абстракций. Сам процесс абстрагирования с использованием свойств называется **классификацией**. Классификация существенно экономит силы и время человека благодаря использованию специальных приемов при рассуждении, например, дедукции. В повседневной жизни мы часто используем прием дедукции, когда, например, ищем, чем забить гвоздь.

Теперь можно дать определение понятиям, приведенным в заголовке раздела.

Данные — это концепты реальных объектов, как правило, снабженные описанием их взаимодействия и снабженные перечнем измеренных свойств (называемых, кстати, **характеристиками**).

Знания — это совокупность связанных понятий, используемая для выполнения рассуждений (например, абстракции, дедукции и т.п.).

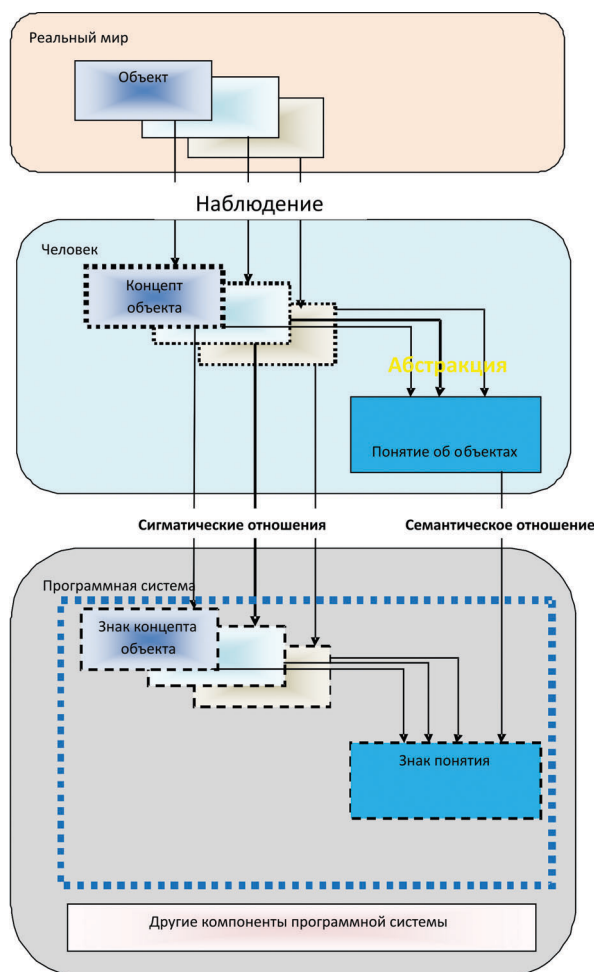


Рис. 4. Хранилище знаний как знаковая система

Добавим, что программная система, имитирующая рассуждения человека, называется **искусственным интеллектом**. Вообще-то такая программа не может манипулировать самими понятиями, поскольку понятия существуют только в памяти субъекта познания и непосредственно непредставимы. В программных системах возможно хранение только языковых эквивалентов предметов и понятий — знаков. А само хранилище знаний и данных является системой знаков. Знаковая система, составляющая хранилище знаний, должна быть упорядочена согласно определенному набору правил. Необходимость таких правил очевидна: следует обеспечить возможность многократно использовать один и тот же инструмент к различным по сути, но одинаковым по форме структурам знаков. С точки зрения семиотики [8, 9], моделирование данных, посредством которого формируются правила упорядочения совокупности знаков, есть предмет синтактики. В соответствии с правилами семиотики, в совокупности или структуре знаков определим **семантические** и **сигматические** отношения. Сигматическое отношение устанавливает связь знака и предмета, но не непосредственно, а че-

рез его концепт. Семантические отношения устанавливают связь знака и понятия. Само хранилище в этом случае является знаковой системой и подчиняется правилам синтактики. Проиллюстрируем все вышесказанное на рис. 4.

Основным выводом из того, что система знаний является знаковой, является требование внутренней непротиворечивости. Но главное — то, что не все структуры знаков имеют соответствующие десигнаты в предметной области. После этого вывода вам не следует удивляться тому, что автомобиль, например, в системе знаний состоит из агрегатов и одновременно из деталей этих агрегатов. Или что функциональная схема телевизора может быть описана на уровне блоков или, одновременно, деталей блоков и все это является *одним и тем же* объектом.

Структуры технических систем. Аспекты описания

Итак, мы подошли к изложению метода поддержки дивергентного этапа проектирования. Напомним, что целью этого этапа является подготовка информации для поиска проектного решения. Сформулируем парадигму метода: *подготовка информации на дивергентном этапе проектирования сводится к последовательному описанию знаний о различных аспектах структур технических систем*. Из последующего изложения станет ясно, какие аспекты (стороны, направления) структур технических систем следует описывать, и на каких основаниях они выбраны.

Прагматические подходы к описанию систем

Описание структур технических систем возможно с использованием одного из двух различных прагматических подходов. Выбор подхода определяется целью описания.

В **первом** случае техническая система описывается как объект проектирования, и описание ее идет в направлении от требуемых свойств через реализующие их процессы к конструкции.

Во **втором** случае в совокупность знаний вносится описание уже существующей

технической системы, и ее описание может быть направлено от конструкции к функциональной схеме и свойствам.

Следует отметить, что при описании различных частей системы, как и в ходе процесса ее проектирования, могут использоваться попеременно как первый, так и второй подходы. В результате законченного применения любого из указанных подходов получается одинаковое, прагматически инвариантное многоаспектное описание технической системы.

Поскольку мы говорим о проектировании объектов, рассмотрим **первый подход** применительно к описанию структуры технической системы.

1. Функциональный аспект. В подавляющем большинстве случаев нужные свойства какого-либо объекта не обеспечиваются просто его формой или материалом. Следовательно, для получения нужных свойств необходимо каким-то образом организовать разнородные взаимодействия частей-деталей внутри объекта таким образом, чтобы в результате появилось новое эмерджентное свойство, совпадающее с нужным конструктору. Понятно, что взаимодействия внутри объекта будут именно разнородными, поскольку структура его как системы должна быть нерегулярной, так как регулярность ведет к трансформации системы обратно в деталь и к уничтожению системообразующих факторов.

Понимание конструктором способа организации такого рода взаимодействий, которые называются функциональными, исходя из знания совокупности требуемых от объекта качеств, и есть решение задачи проектирования. Таким образом решаются задачи проектирования с использованием эвристических методов "сеть взаимодействий", "трансформация системы", "проектирование новых функций", приведенных в таблице 1. Повторим, что эмерджентное свойство появляется у системы как продукт функционального взаимодействия ее элементов и не может быть приписано ни одному из них и ни одному из отдельно взятых взаимодействий между ними. С точки зрения проектировщика, эмерджентное свойство есть цель функциональных взаимодействий. Например, движение автомобиля — это его свойство как технической системы. Данное свойство появляется благодаря функциональному взаимодействию его составных частей-элементов: двигателя, трансмиссии и колес.

Двойственность описания эмерджентного свойства проявляется в том, что оно благодаря системному свойству целостности должно быть приписано системе в целом и, кроме того, может

быть атрибутом ее функционального отношения как элемента с другими элементами в метасистеме (более подробно см. ниже).

Развернутые в виде графа функциональные взаимодействия частей-деталей системы назовем функциональной структурой объекта как технической системы (рис. 5).

Свойства функциональных отношений.

Простого установления функционального отношения недостаточно для его полного описания. Здесь должна учитываться двойственность системных свойств, связанных данным отношением элементов. Таким образом, в полном описании отношения сам факт его наличия дополняется описанием отношения "в терминах характеристик" подобно тому, как это делается при описании объектов, когда имя объекта дополняется перечнем его свойств. Применительно к функциональному отношению описание перечня его свойств (интенционала) есть описание процесса. Например, передача механической энергии от двигателя автомобиля его трансмиссии описывается двумя показателями (рис. 6).

2. Причинный аспект. Знание функциональной структуры объекта-системы есть знание причин появления его эмерджентных свойств. Поскольку причинно-следственные отношения всегда развернуты во времени, для полного понимания функционирования объекта-системы его функциональную структуру необходимо также развернуть во времени, определив последовательность функциональных взаимодействий. Эта последовательность представляет собой направленную сеть событий — функциональных взаимодействий, сходящихся к результирующему событию — появлению нового, эмерджентного свойства (рис. 7).

Развернутые во времени функциональные отношения, образующие последовательность, приводящую к появлению эмерджентного свойства, составляют причинный аспект функциональной структуры объекта-системы. В причинном аспекте совокупность функциональных взаимодействий связана с порождаемым ими свойством. Эта связь представляет собой связь между структурой и свойствами системы.

3. Влияние показателей процессов, происходящих внутри системы, на величину системного свойства (аспект "Влияние"). Причинный аспект структуры функциональных отношений связывает строение и свойства системы. Точнее, он показывает, как организация структуры системы приводит к появлению нового системного свойства (см. выше).

Очевидно, что параметры процессов — функциональных взаимодействий внут-

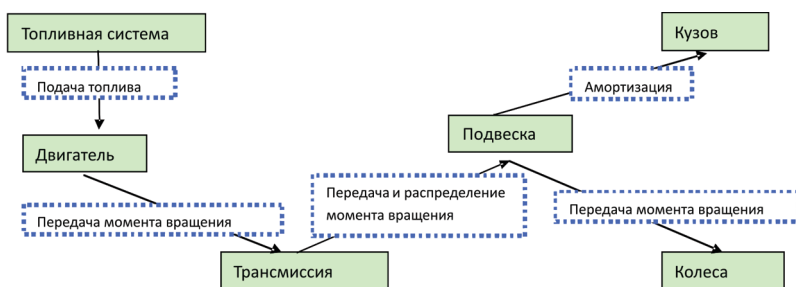


Рис. 5. Функциональная схема автомобиля

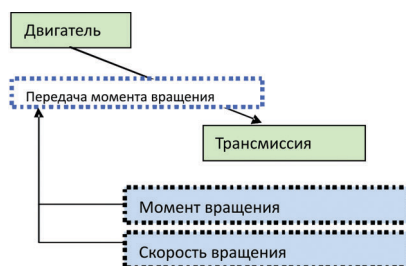


Рис. 6. Показатели функционального отношения

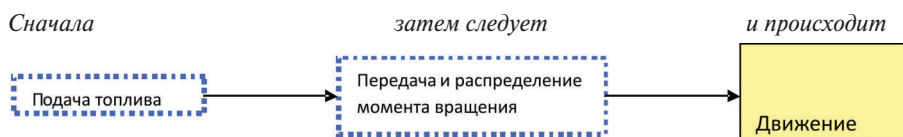


Рис. 7. Причины появления системного свойства автомобиля

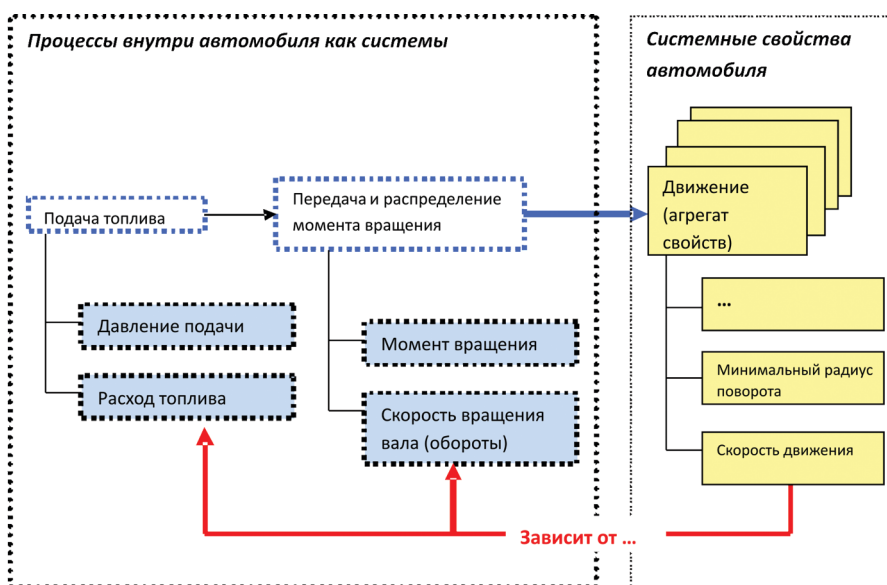


Рис. 8. Влияние показателей процессов на величину системного свойства

ри системы влияют на величины системных характеристик, измеряющих компоненты системного свойства. Понятно, что на величину системной характеристики оказывают влияние показатели только тех процессов, которые находятся в причинной цепи, объясняющей появление системного свойства. Степень этого влияния определяется путем установления соответствующей зависимости, в которой параметры процессов причинной цепи являются исходными данными, а системная характеристика — результатом. Те процессы или те показатели процессов, которые, по мнению про-

ектировщика, слабо влияют на величину системных характеристик, могут быть исключены из этой зависимости.

Установленная зависимость величины системной характеристики от величин характеристик функциональных взаимодействий между элементами системы образует новый аспект рассмотрения системы характеристик, который можно на-

звать "влиянием". Связать характеристики в этом аспекте можно, только зная причинную связь свойств и структуры системы. Установленная исследователем количественная зависимость между системными показателями и показателями процессов внутри системы может иметь различную степень общности (физический закон, эмпирическая зависимость, регрессионная зависимость). Эта зависимость действительна и однозначна только в одном направлении — показатели системы зависят от параметров функциональных взаимодействий между ее элементами.

4. Морфологический аспект. Функциональное взаимодействие элементов-деталей системы должно каким-то образом обеспечиваться. Организация этого обеспечения составляет суть конструирования объекта. При этом функциональная структура объекта конкретизируется и заменяется множеством конструктивных деталей.

В процессе конструирования объекта проектировщик, с одной стороны, конкретизирует его структуру, с другой — пытается рассмотреть функциональную схему в ином, технологическом аспекте. В этом аспекте важно уже не столько функциональное взаимодействие элементов-деталей системы, сколько организация его таким образом, чтобы объект-система мог быть изготовлен в рамках существующей технологии.

В результате конструирования строится так называемая морфологическая структура (или морфология) объекта-системы (рис. 9). Субстратом морфологической структуры являются уже не абстрактные функциональные элементы, а конкретные детали, узлы, блоки и агрегаты. Детали, узлы и блоки связаны в структуре морфологическими отношениями, показывающими их взаимное расположение, соединение или взаимодействие.

Свойства морфологических отношений. Интенционал морфологического отношения может включать пространственные показатели взаимного расположения частей и механические показатели их соединения (рис. 10).

5. Аспект декомпозиции. При конструировании объект делится на части, как правило, соответствующие функциональным блокам. Части и целое связаны друг с другом отношениями состава (декомпозиции или деления и агрегации или объединения). Это структура-иерархия, в которой каждая вершина есть объединение низлежащих уровней. В этом смысле каждый более высокий уровень декомпозиции объекта-системы есть абстракция низлежащего.

Естественным ограничением уровня декомпозиции технической системы снизу является деталь — технический объект, изготовленный путем формообразования из какого-либо материала и при дальнейшем делении теряющий свое техническое назначение. Деталь можно считать атомом технической системы, поскольку сама она рекурсивно уже не может рассматриваться как техническая система ввиду отсутствия у нее эмерджентных свойств в техническом понимании. Все свойства детали обеспечиваются ее размерами, формой и родом материала. Заметим, что только та морфологическая структура, которая описывает взаимодействие деталей, а не абстракт-

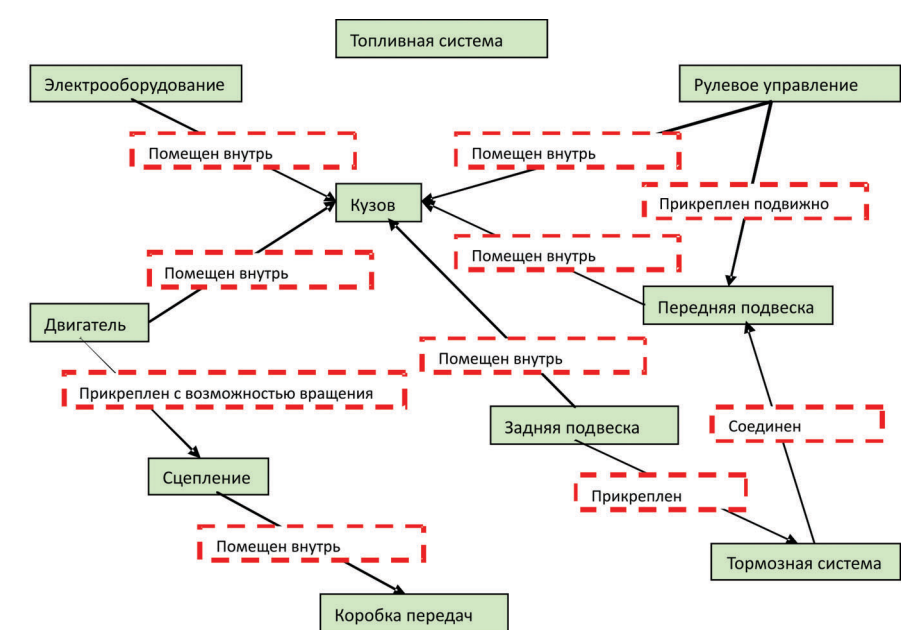


Рис. 9. Морфологическая структура автомобиля

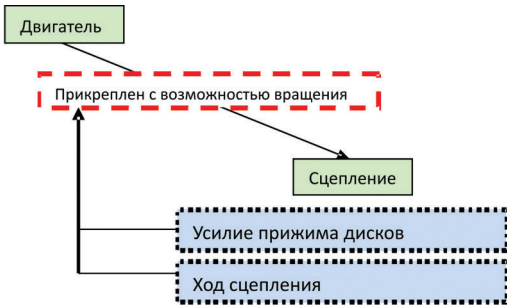


Рис. 10. Показатели морфологического отношения

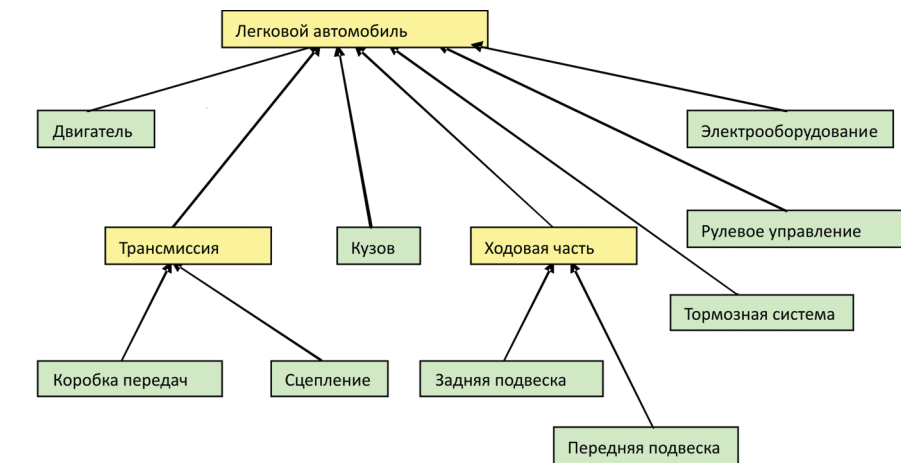


Рис. 11. Декомпозиция автомобиля

тов, полученных путем их агрегации, может считаться по-настоящему реальной и реализуемой. Однако не всегда декомпозиция системы до деталей необходима. Более того, у различных элементов системы возможны различные уровни декомпозиции. В подобных случаях возможно описание морфологической структуры путем установления соответствующих отношений между абстрактными агрегатами деталей.

6. Аспект классификации (родо-видовой). В процессе проектирования всегда возникает задача подбора аналогов и прототипов по отношению к создаваемому объекту. Некоторые исследователи не без основания считают проектирование методом модификации и модернизации прототипа наиболее эффективным по стоимости и скорости и наименее рискованным [10]. Почему же?

Дело в том, что потребности человека удовлетворяются непосредственно или опосредованно определенным набором качеств (свойств) создаваемых объектов. Если рассуждать на уровне классов свойств, то эти потребности достаточно невелики по объему и консервативны по номенклатуре. В этом смысле человек редко создает что-нибудь принципиально новое по назначению. Поэтому при проектировании любых новых объектов почти всегда можно провести аналогии с существующими, хотя бы по системным свойствам, и на основании такого сравнения использовать (унаследовать) существующий опыт.

Для подбора системных аналогов и прототипов необходима классификация технических систем, то есть сведение значительного разнообразия различных по назначению и конструкции технических систем к ограниченному числу абстрактных объектов-классов путем объединения в них объектов по общей совокупности свойств. Сама классификационная иерархия технических систем построена при помощи родо-видовых отношений, устанавливаемых между объектами-классами и объектами-экземплярами. Общность и ограниченная номенклатура свойств объектов дает основание описывать свойства отдельно от объектов и затем причислять их к объектам путем установления атрибутивных отношений. Такая совокупность свойств, определяющая условие включения объекта в класс, называется интенционалом класса [11]. Интенционалы объекта-класса и объекта-экземпляра соотносятся между собой определенным образом. А именно: при экземпляризации класса объектов в его интенционале некоторые классы свойств заменяются на экземпляры свойств, соответствующие перечню родо-видовых отличительных признаков экземпляра класса. Такие классы свойств будем называть аспектами (направлениями) экземпляризации (или обратного процесса-классификации).

В аспекте могут быть один или несколько классов свойств, причем в последнем случае выделенное в аспект множество классов свойств является общим для всех экземпляров данного класса объектов. Если принять, что множество классов свойств, объединенных в аспект классификации, всегда можно представить как один агрегат классов свойств, то аспекты экземпляризации (классификации) становятся одномерными. То есть при экземпляризации класса объектов по определенному аспекту каждый раз экземпляризируется только одно свойство из его интенционала.

Итак, обратите внимание на следующее: в процессе рассуждений о способе построения родо-видовой иерархии объектов-технических систем мы пришли к пониманию того, что свойства технической системы могут также агрегироваться и объединяться в классы. Приведем при-

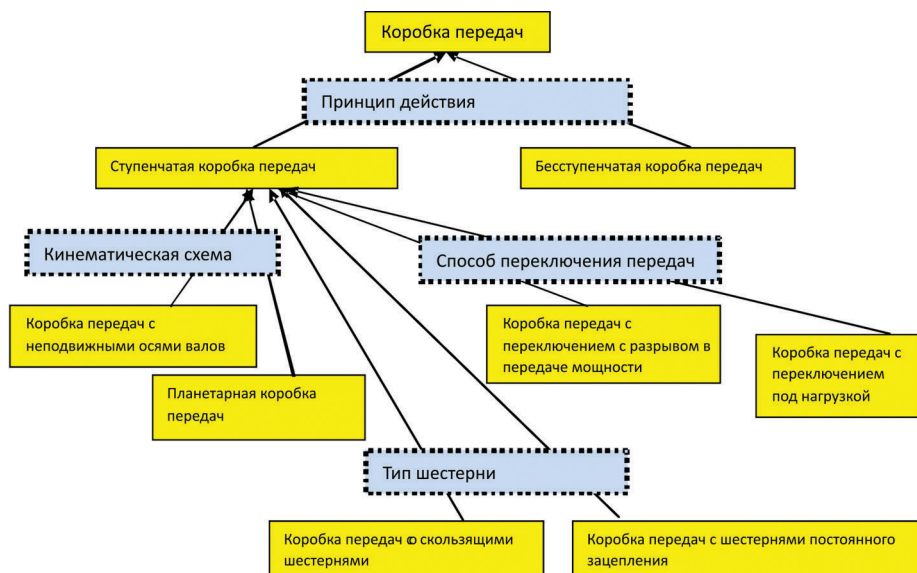


Рис. 12. Пример многоаспектной классификации коробок передач автомобилей

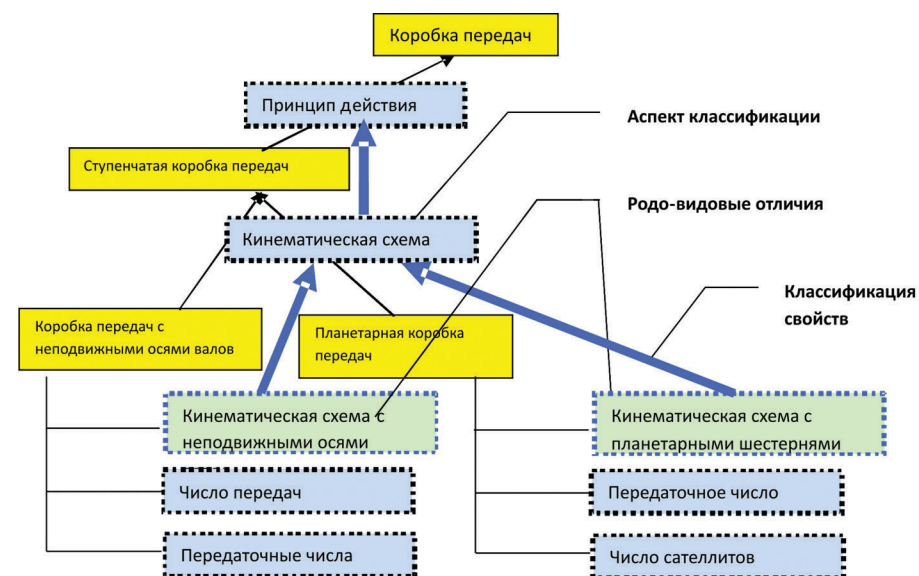


Рис. 13. Классификация объектов и связанная с ней классификация свойств

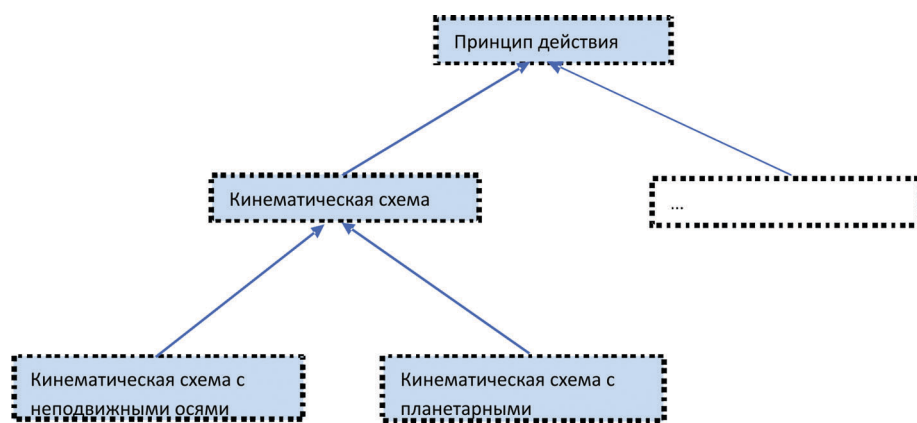


Рис. 14. Классификация свойств как псевдосущностей (следует из классификации объектов)

мер классификации (рис. 12). Сопутствующая классификации объектов классификация свойств приведена на рис. 13 и 14, а пример агрегации свойств — на рис. 15.

мер классификации (рис. 12). Сопутствующая классификации объектов классификация свойств приведена на рис. 13 и 14, а пример агрегации свойств — на рис. 15.

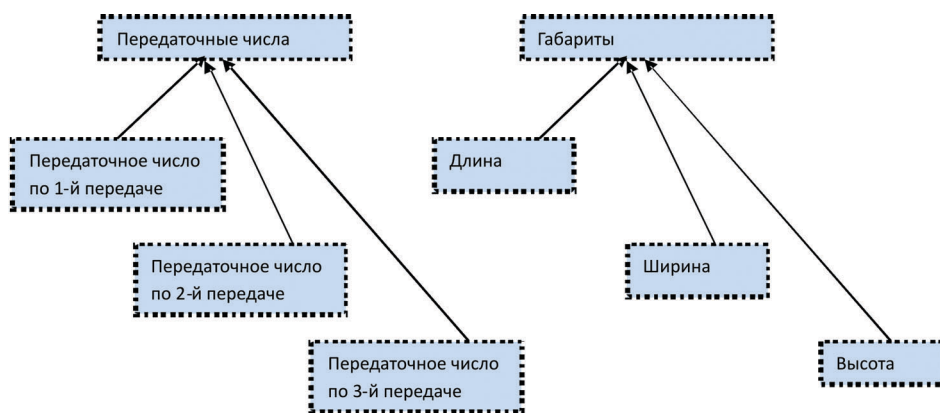


Рис. 15. Пример агрегации свойств

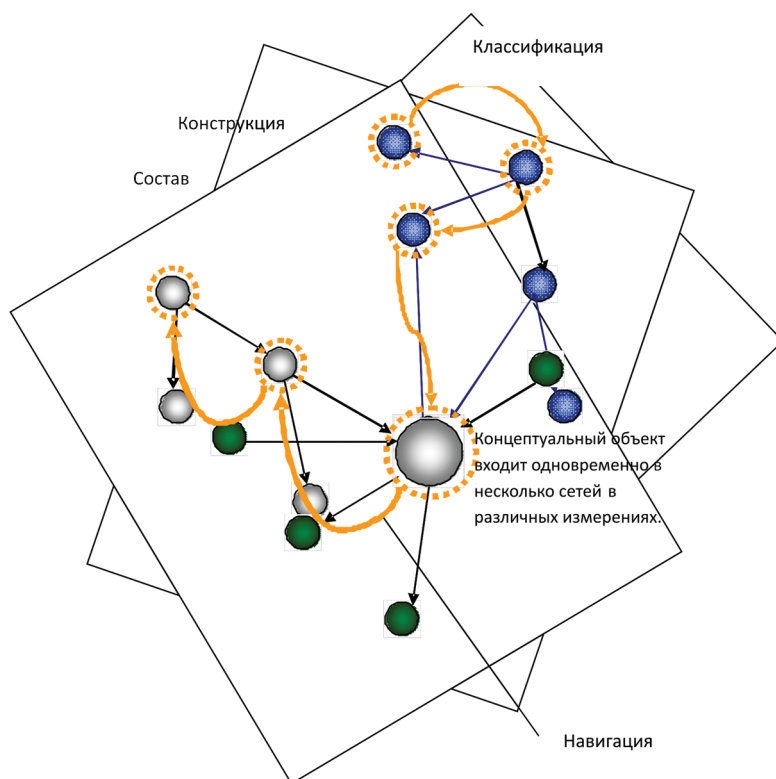


Рис. 16. Многомерная семантическая сеть

Матрица видов структур модели знаний о технических системах

Концептуальные объекты/ Отношения	Декомпозиционный	Морфологический	Функциональный	Родо-видовой	Причинный	Влияние
Реальные объекты	●	●	●			
Классы	●	●	●	●		
Функциональные отношения				●	●	
Морфологические отношения				●		
Свойства (характеристики)	●			●		●

Таблица 2

Итак, для подготовки информации на дивергентном этапе проектирования мы выделили следующие аспекты описания технических систем:

- 1) функциональный;
- 2) причинный;
- 3) влияние;
- 4) морфологический;
- 5) декомпозиционный;
- 6) родо-видовой.

Поскольку мы установили, что система знаний, содержащая все сведения об объектах проектирования, является формальной знаковой системой (см. выше), для описания технических систем введем так называемые "псевдосущности", между которыми будем устанавливать отношения, соответствующие указанным выше аспектам:

- 1) функциональное отношение;
- 2) морфологическое отношение;
- 3) свойство (характеристика).

Помимо "псевдосущностей", в нашем описании присутствуют такие объекты моделирования знаний, как *классы* (или типовые объекты) и так называемые *реальные объекты*, единственные, кстати, имеющие десигнаты в предметной области. Назовем совокупность сущностей и "псевдосущностей" *концептуальными объектами*.

Теперь все приведенные выше описания структур знаний о технических системах можно свести в общую матрицу с установленными в полученной нами модели релевантными видами отношений (таблица 2).

Как следует из таблицы, все приведенные выше описания структур технических систем, рассмотренные в различных аспектах, образуют в общей сложности 13 видов структур в формальной знаковой системе, которые основаны на 5 видах концептуальных объектов и 6 категориях отношений.

Структуры, основанные на отношениях понятий (элементов нашей знаковой системы), принято называть семантическими сетями [11]. Исходя из этого, назовем представленные в таблице релевантные сочетания концептуального объекта и категории отношений *измерением семантической сети*, а саму сеть — *многомерной семантической сетью* (рис. 16). Многомерная семантическая сеть является новым видом семантических сетей Куиллиана.

Таким образом, синтезированная формальная знаковая система с точки зрения моделирования знаний представляет собой многомерную семантическую сеть из 13-ти измерений. Как видно из таблицы, каждый концептуальный объект может быть связан с другими объектами одновременно в нескольких измерениях. Правильно построенная много-

мерная семантическая сеть не имеет изолированных концептуальных объектов, поскольку само их создание основано на установлении определенной категории отношений. Следовательно, любой объект можно найти путем следования вдоль отношений в одном или в разных измерениях семантической сети. Такой способ поиска знаний называется *навигацией*. Навигация в многомерной семантической сети позволяет найти любое понятие без использования каких-либо критериев поиска. Это свойство многомерной семантической сети очень важно для реализации дивергентного этапа проектирования.

Эпистемологические уровни описания систем

Знания о различных аспектах описания технических систем, изложенные выше, могут быть расположены на пяти эпистемологических (познавательных) уровнях. В основу разбиения положен принцип повышения качества знаний. На каждом эпистемологическом уровне системы описываются в нескольких аспектах.

На **первом**, самом низком уровне располагаются знания о разрозненных системах, об их декомпозиции и морфологии. На **втором** уровне находятся знания о множествах систем — их классификация, а также связанное с ней отдельное описание и классификация их свойств. Это систематизация представления обо всей предметной области.

На **третьем** уровне вновь описывается внутренняя структура систем, но на новом уровне понимания, отвечающем на вопрос: для чего системы организованы именно таким образом и как продуцируются системные свойства. На этом уровне помещены знания о функциональных структурах, дающие представление о том, как при помощи морфологических отношений организованы процессы внутри технической системы, и о причинных цепях, объясняющих, как последовательность связанных процессов в системах приводит к появлению эмерджентных свойств.

Четвертый уровень включает в себя знания о мере системного качества в виде описания качественной и количественной зависимости свойств системы от ее структуры.

Последний, **пятый** уровень, подобно второму, содержит описания множества систем, но общность между ними устанавливается уже на уровне структур. Описания пятого уровня имеют самый высокий

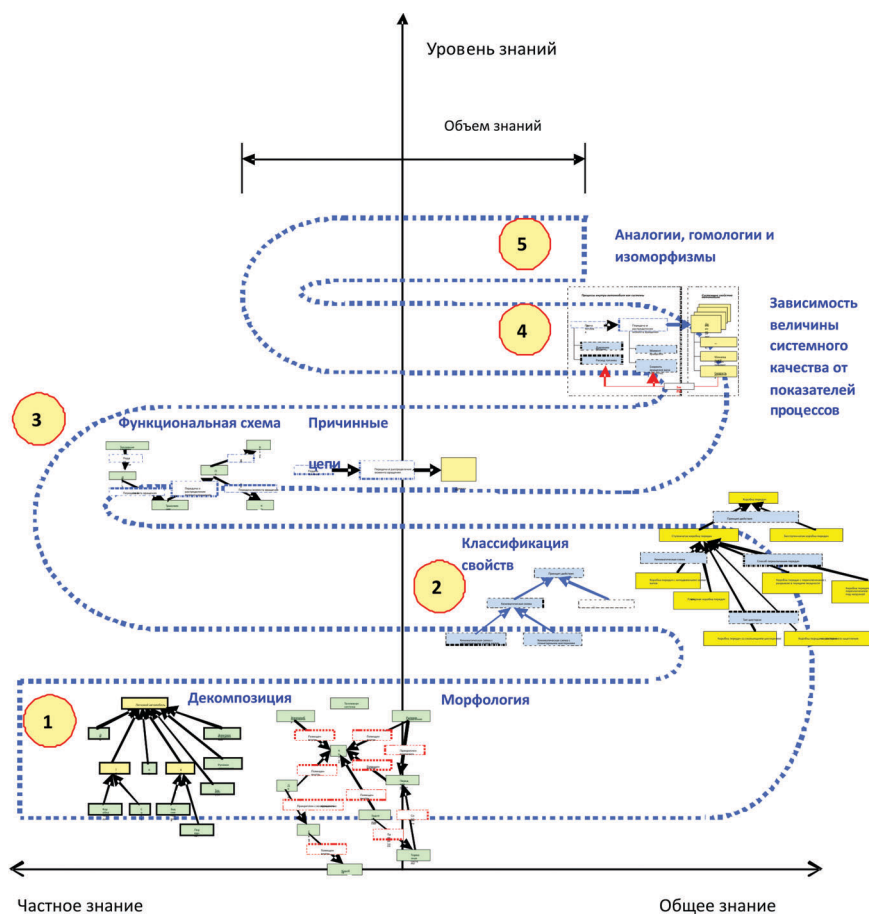


Рис. 17. Эпистемологические уровни описания систем

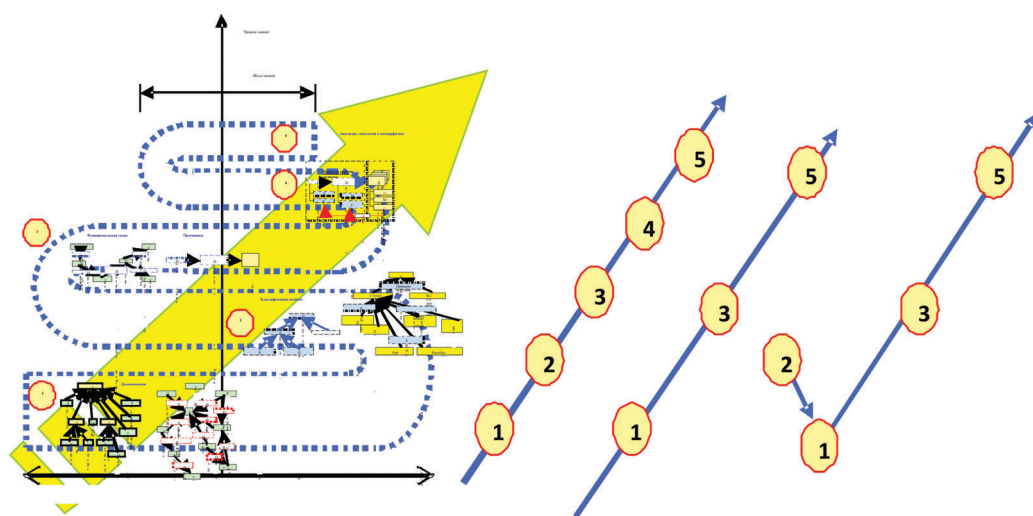


Рис. 18. Нетривиальные способы прохождения эпистемологических уровней описания знаний о технических системах

уровень абстракции и не являются явными. Эти описания есть результат проводимых системных и структурных аналогий (общность свойств систем и свойств процессов внутри них), гомологий (общность строения и функционирования) и сравнений на предмет изоморфизма (полного и однозначного подобия). Распределение аспектов описания систем по эпистемологическим уровням показано на рис. 17.

Эпистемологические уровни описания систем позволяют построить гибкую многоуровневую технологию обработки знаний, реализующую принцип их постоянной неполноты, но позволяющую организовать их полную обработку на каждом уровне.

Примеры последовательности повышения качества знаний (прохождения эпистемологических уровней) приведены на рис. 18.

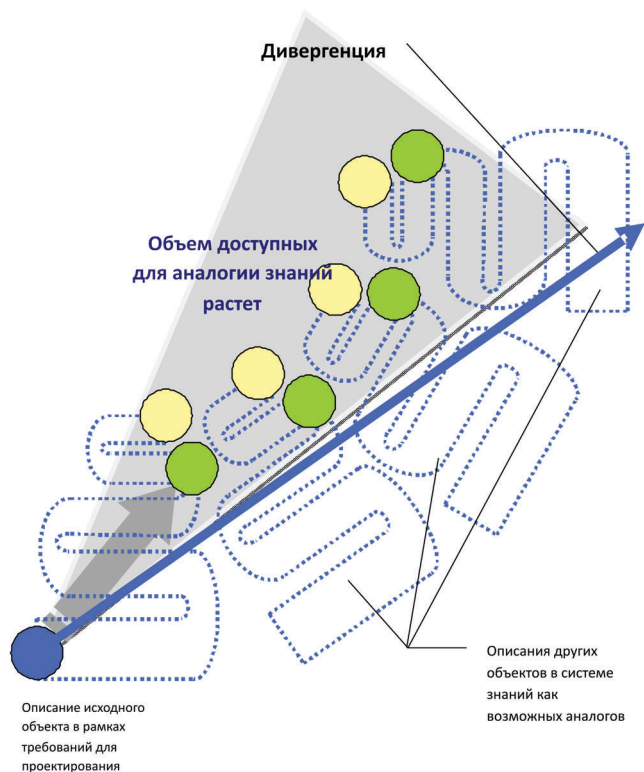


Рис. 19. Увеличение объема доступных знаний в результате дивергенции

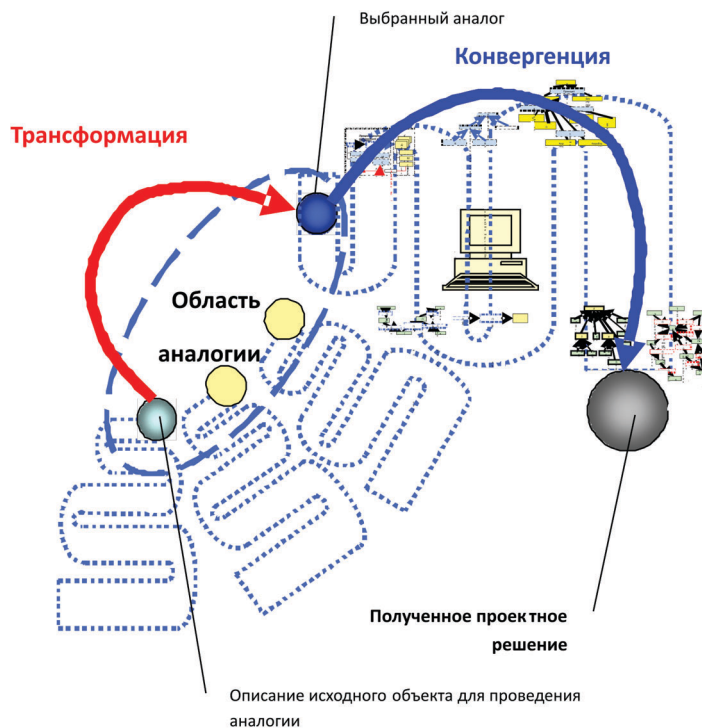


Рис. 20. Трансформация и конвергенция при проектировании с использованием системы знаний

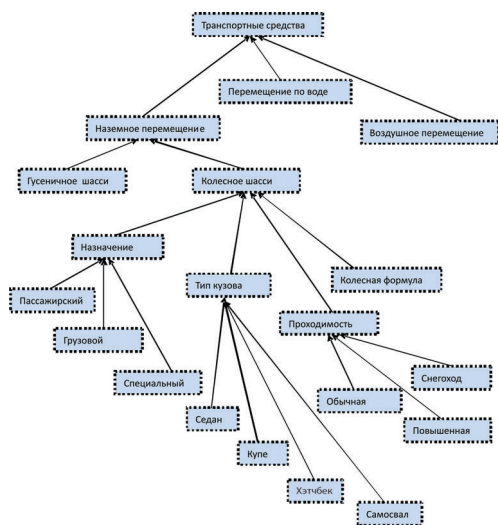


Рис. 21. Классификация свойств автотранспортных средств

Естественно, что на основании принципа постоянной неполноты знаний любая последовательность может быть усечена справа. Кроме этого, очевидно, что для реализации описаний 4 и 5 уровней обязательно выполнение описания 3 уровня.

Прохождение эпистемологических уровней описания систем как метод подготовки информации на дивергентном этапе проектирования

Для сравнения и выбора проектного решения на этапе трансформации мы предполагаем, что дивергентный этап

проектирования происходит в развитой базе знаний, содержащей высококачественные знания о множестве объектов. Такая высококачественная система знаний, как было сказано выше, должна представлять собой *знаковую систему*, построенную в виде *многомерной семантической сети*. В силу высокой связности этой сети в ней не существует изолированных областей знаний, и из любого участка сети можно попасть в любой другой путем *навигации*.

По мере повышения качества знаний их объем относительно исходного описания объекта на первом эпистемологическом уровне уменьшается, однако общий объем доступных для сравнения *связанных* знаний увеличивается, так как увеличивается степень абстракции знаний. Этот факт проиллюстрирован на рис. 19.

Итак, следуя парадигме метода, путем последовательного описания знаний о различных аспектах структур технических систем, повышая качество знаний по мере прохождения их эпистемологических уровней, мы прошли дивергентный этап проектирования. Информация для этапа трансформации подготовлена. Получено большое количество высококачественных, пригодных для сравнения знаний.

Теперь, если бы имелась возможность обоснованно выбрать аналог из доступных для сравнения знаний, то путем об-

ратного прохождения эпистемологических уровней его описания, применяя при этом инструментальные средства проектирования, можно было бы получить сколь угодно детальное описание выбранного объекта. То есть задача проектирования была бы решена (рис. 20).

Каким же образом выбирать аналог на этапе трансформации? Для этого можно использовать методологию поиска и сравнения в семантических пространствах Осгуда [12].

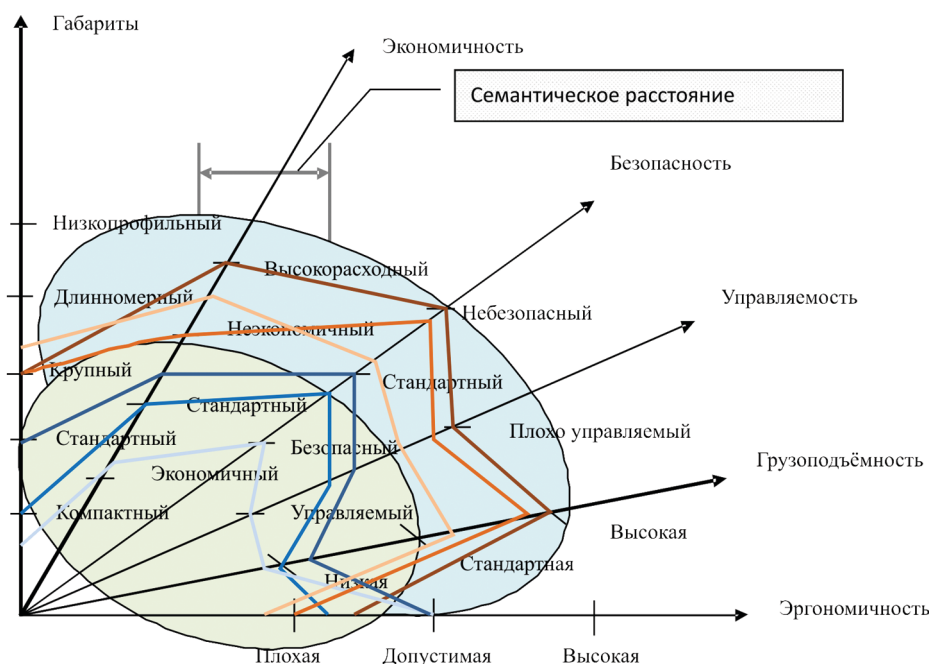
Семантические пространства Осгуда

Классическое семантическое пространство Осгуда состоит из набора базовых шкал, в которых отображаются оценочные показатели испытуемой личности. Набор шкал определяется как пространство, поскольку о мере сходства личностей можно судить по расстоянию между их отображаемыми показателями.

В нашем случае, на этапе трансформации, подход Осгуда позволит сравнить, казалось бы, несравнимые технические системы и тем самым провести сколь угодно дальнюю аналогию.

Применение семантических пространств Осгуда для проведения аналогий в системе знаний основано на возможности осуществлять описания одной и той же технической системы на нескольких уровнях абстракции, а также на возможности выполнять классификацию свойств.

Представим себе развитую классификацию свойств (рис. 21).



Автомобиль ВАЗ 21701

Назначение — пассажирский

Тип кузова — седан

Пройодимость — обычная

Автомобиль БелАЗ 7340

Назначение — грузовой

Тип кузова — самосвал

Пройодимость — высокая

Рис. 22. Отображение классов свойств автомобилей ВАЗ и БелАЗ на показатели выбора в 6-мерном семантическом пространстве Осгуда. Объекты нельзя считать аналогами

должен соответствовать конкретной ситуации выбора (рис. 22). Для двух разных систем полученная область отображения будет разной, потому что эти системы действительно разные. Мету различия между ними показывает некоторое семантическое расстояние в условных единицах.

Далее выполним аналогичное отображение для классов свойств этих систем. Только набор шкал для отображения в этом случае должен соответствовать уровню абстракции свойств. Поскольку классификация представляет собой иерархию, сходящуюся в одну вершину, количество отображаемых свойств и шкал для их отображения (то есть размерность семантического пространства Осгуда) будет уменьшаться по мере увеличения степени абстракции.

Обратите внимание, что семантическое расстояние между областями отображения с увеличением уровня абстракции уменьшается, то есть системы на высоких уровнях абстракции становятся более похожими. Когда при очередном уменьшении размерности пространства Осгуда семантическое расстояние между областями отображения свойств достигнет определенного минимума, задача выбора аналога будет решена. То есть будут выбраны классы технических систем — аналоги (рис. 23).

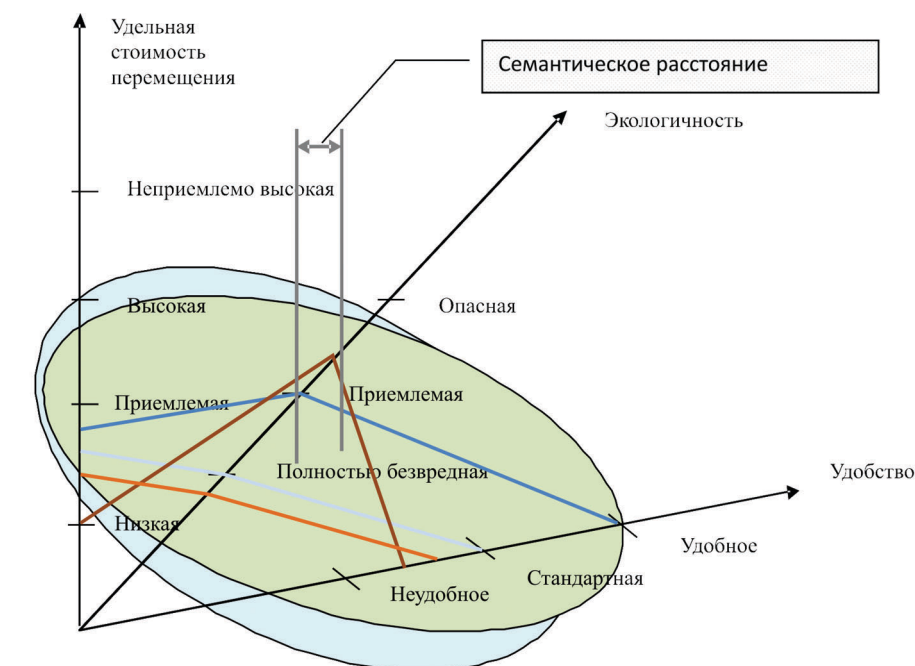
Далее путем экзemplаризации выбранного класса-аналога на этапе конвергенции можно получить прототип или же готовое проектное решение.

Весь описанный выше процесс является набором эвристик, которые выполняет проектировщик при поддержке системы знаний, реализованной, естественно, в виде программной системы. Результат аналогии зависит не только от качества подготовки знаний и семантических пространств, но и от интеллекта проектировщика и его опыта.

Заключение

В статье сформулирована одна из основных проблем развития CAD-систем: отсутствие поддержки поиска технических решений задачи проектирования. Изложена классификация используемых на практике методов проектирования, описаны этапы обобщенного процесса проектирования: дивергенция, трансформация, конвергенция, показано, что большинство эффективных методов проектирования, применяемых в основном на этапах трансформации, имеют характер эвристик.

Сформулирован способ преодоления указанной проблемы развития CAD-систем: создание методов и средств поддержки этапов дивергенции и трансформации. Описан методический подход,



Автомобиль ВАЗ 21701

Тип средства — наземное

Тип шасси — колесное

Автомобиль БелАЗ 7340

Тип средства — наземное

Тип шасси — колесное

Рис. 23. Отображение более высокого класса свойств автомобилей ВАЗ и БелАЗ на показатели выбора в трехмерном семантическом пространстве Осгуда. После уменьшения размерности семантического пространства объекты можно считать аналогами

Теперь отобразим измеренные свойства низшего уровня определенной технической системы в некоторые выбранные

шкалы, соответствующие требованиям к выбору такой системы из множества других систем. Естественно, набор шкал

применимый для создания комплексной, охватывающей все этапы технологии проектирования: использование системной парадигмы и методов обработки знаний в формальных знаковых системах.

Показано, как путем последовательного описания различных обоснованно выбранных аспектов структур технических систем (а в результате — повышения качества знаний об объекте проектирования) добиться подготовки проектной ситуации к этапу трансформации, то есть к поиску нового проектного решения.

Описано, как с использованием семантических пространств Осгуда переменной размерности выполнить этап трансформации — провести эвристический выбор нетривиального аналога проектируемого объекта, а затем синтезировать его техническое решение.

Возможность реализации и практическая значимость

Каким видится будущее CAD-систем? Само собой разумеется, проблема их развития, сформулированная в данной статье, будет преодолена. Здесь излагается только один из способов преодоления этой проблемы. Будущие CAD-системы, несомненно, должны представлять собой комплексные технологии поддержки всех этапов проектирования, основанные на принципах искусственного интеллекта и коллективной обработки знаний. Обращение проектировщика к такой технологии с конкретными требованиями к будущему объекту проектирования приведет к тому, что путем последовательного выбора в ходе диалога с программными средствами он получит готовый прототип, основанный на заложенных в систему знаниях и практических результатах.

Что же касается реализации подхода, предложенного в этой статье, то практический результат видится следующим.

1. Система знаний формируется при помощи специальных программных средств, обеспечивающих коллективный множественный доступ к данным. Само хранилище знаний должно быть расположено в глобальной вычислительной сети и организовано по принципу Википедии ("Википедия технических знаний"). Пользователи-проектировщики создают и дополняют описания технических систем, строят классификации, причинные цепи, определяют функциональные зависимости. Технические эксперты-модераторы следят за корректностью и связанностью многомерной семантической сети. Проектировщики строят и верифицируют пространства Осгуда переменной размернос-

ти, а также фиксируют наиболее релевантные результаты рассуждений. Происходит накопление коллективных знаний, и с течением времени в результате своеобразного "самообучения" система знаний позволит получать все более нетривиальные результаты.

2. Создание многомерных семантических сетей и пространств Осгуда производится при помощи реального трехмерного интерфейса, обеспечивающего наиболее эффективный обзор и навигацию.

3. Программные средства, обеспечивающие диалог и поддержку целостности знаний, размещаются в "вычислительных облаках".

4. Программная система является "мультикадовой" и при помощи набора коннекторов способна поставлять полученные прототипы в наиболее известные инструментальные средства проектирования.

Литература

1. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках. — М.: Радио и связь, 1984. — 144 с.
2. Половинкин А. Основы инженерного творчества. — М.: Машиностроение, 1988. — 368 с.
3. Джонс Дж. К. Методы проектирования. — М.: Мир, 1986. — 326 с.
4. Флейшман Б.С. Основы системологии. — М.: Радио и связь, 1982. — 368 с.
5. Клар Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. — М.: Радио и связь, 1990. — 539 с.
6. Бреховских С. Основы функциональной системологии материальных объектов. — М.: Наука, 1986. — 192 с.
7. Садовский В. Основания общей теории систем. Логико-методический анализ. — М.: Наука, 1974. — 279 с.
8. Зеgef В. Элементарная логика. — М.: Высшая школа, 1985. — 256 с.
9. Салмина Н. Знак и символ в обучении. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. — 288 с.
10. Шейнин В., Макаров В. Роль модификации в развитии авиационной техники. — М.: Наука, 1982. — 224 с.
11. Цикридис Д., Лоховский Ф. Модели данных. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 344 с.
12. Charles E. Osgood, George Suci, & Percy Tannenbaum, The Measurement of Meaning. — University of Illinois Press, 1957.

Петр Петров

к.т.н.

E-mail: Petrof@mail.ru

Компания Autodesk выпустила первое приложение для выполнения инженерных расчетов на мобильных устройствах

Autodesk ForceEffect — решение для мобильных устройств доступно на бесплатной основе инженерам, студентам и конструкторам-энтузиастам

Компания Autodesk объявила, что для загрузки с AppStore доступно iPad-приложение Autodesk ForceEffect, позволяющее быстро и удобно анализировать варианты исполнения проектов уже на ранних стадиях работы. ForceEffect предлагает интуитивную рабочую среду для черчения, наложения зависимостей и расчетов на основе эюр. При этом выбор, перемещение, вращение и масштабирование осуществляются при помощи пальцев. Приложение, предназначенное для мобильных устройств, позволяет решать задачи инженерного проектирования в режиме реального времени и в любом месте — будь то работа на выезде, в офисе или в учебной аудитории.

С помощью ForceEffect можно проводить анализ статически уравновешенных систем, применяя в качестве основы эюры. Есть возможность создавать диаграммы, пользуясь имеющимися изображениями или разрабатывая системы с нуля.

Беря за основу реальные изображения, можно легко создавать узлы, опоры, нагрузки и вычислять силы реакции. Благодаря удобству управления геометрией обеспечивается эффективность пересчета сил реакции при оптимизации конструкции. В отличие от традиционного подхода, который заключается в решении уравнений с использованием ручки, бумаги и калькулятора, в Autodesk ForceEffect все вычисления выполняются на iPad.

В Autodesk ForceEffect создается отчет с подробными результатами, который можно распечатать, отправить по электронной почте или просмотреть через любой веб-браузер. Возможности экспорта позволяют передать проект для дальнейшей проработки в любую САПР.

"Autodesk ForceEffect — приложение для концептуального моделирования на мобильных устройствах, помогающее решать широкий ряд проектных задач, — говорит Роберт Кросс, старший вице-президент Autodesk по машиностроению и промышленному производству. — С помощью этого простого в использовании приложения профессиональные инженеры, студенты и конструкторы-энтузиасты могут легко и без особых трудозатрат оценить свои концептуальные идеи".

Условия приобретения

Приложение Autodesk ForceEffect доступно бесплатно в App Store на iPad и на сайте iTunes App Store. Видеоролики о продукте можно посмотреть на канале Autodesk на YouTube.