

ТРИЗ - КЛУБ

**Концептуальное проектирование:
ТЕОРИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА**

Глазунов В.Н.
Компании «Метод» www.method.ru

Выход



Историческая справка

Метод концептуального проектирования - это "теория" изобретающей программы Новатор.

1985 г. Началом проекта Новатор можно считать 1985 год, а местом рождения – НПО «Молния», которое в то время завершало разработку и строительство космического самолёта «Буран».

Первые опыты объединения ТРИЗ с возможностями компьютера показал, что без глубокой формализации ТРИЗ разработать на её основе практически полезную изобретающую программу невозможно.

1989 г. НТК "Метод". Серии книг "Методы анализа проблем и поиска решений в технике". Программы "Эдисон" и первые версии программы Новатор.

1995 г. НТК «Метод» и IMCorp. Программа TechCreator.

В этой программе впервые был осуществлён автоматический синтез конструктивных схем физических принципов действия на открытой базе данных. Был разработан объектный графический редактор и редактор расчетных математических формул. Программа умела группировать разные принципы действия по степени схожести и ещё много чего другого.

1996 г. Компания «Метод» и IMCorp. База эффектов, технических решений, онтология эффектов, тернарная онтология.

2001 г. Компания «Метод». Изобретающая программа 2-ого поколения Новатор 4.02

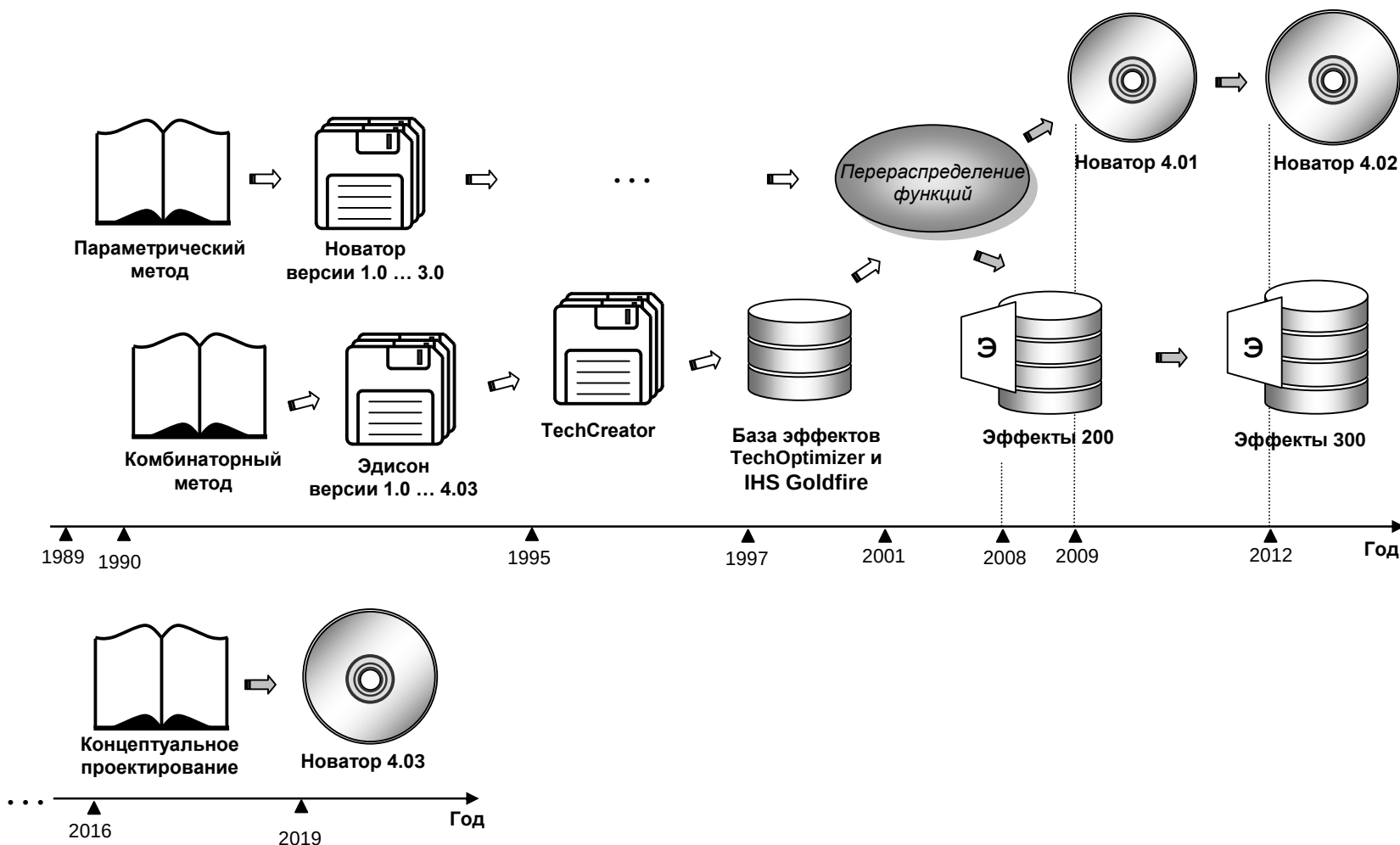
2012 г. Компания «Метод». Концептуального проектирования как самостоятельного вида проектной деятельности.

2019 г. Новатор 4.03

Весь долгий путь проекта «Новатор», можно легко уместить на небольшой схеме.

Историческая справка

Весь долгий путь проекта «Новатор», можно легко уместить на небольшой схеме.



Выход



Цели концептуального проектирования

Концептуальное проектирование и изобретательство.

Главная цель – повысить производительность разработки концепции будущего изделия.

Дополнительная цель: разработку концепций и изобретательство - как самостоятельный вида проектной деятельности.

Ограниченность современных САПР.

Computer Aided Invention (**CAI**) – поиск инновационных решений с помощью компьютера.

Для **CAI** систем необходимо максимально формализовать процесс изобретательства.

Концептуальное проектирование – это новый этап развития **теории изобретательства**, завершающий переход от эвристических методов теории решения изобретательских задач (**ТРИЗ**) к формальным методам изобретательства.

Область применения метода концептуального проектирования охватывают все этапы и направления разработки концепции технической системы:

- анализ проблемной ситуации;
- выбор цели проектирования;
- поиск обходных целей;
- вычисление концепций;
- параметрическая и структурная оптимизация концепций;
- развитие и ранжирование концепций

Под **концепцией** понимается описание способа достижения поставленной цели. Описание концепции должно быть достаточным для разработки **технического решения** в виде **конструктивной** или **технологической схемы** системы, использование которой позволит достичь эту цель.

К **базовым концепциям** относятся:

физические принципы действия – взаимосвязанная комбинация физических, химических, биологических и т. п. естественно-научных эффектов;

функциональные принципы действия, состоящие из элементарных функциональных структур;

принципы изменения – совокупности технических эффектов, улучшающие отдельные показатели ТС;

принципы устранения противоречий, улучшающие пары взаимосвязанных показателей ТС;

набор оптимальных значений параметров элементов ТС.

В настоящее время разработано более чем 100 программных средств, выполняющих разные функции и подфункции CAI-систем. Эти программные средства имеют низкий уровень внедрения.

Причина – отсутствует формальный метод, охватывающий все этапы разработки концепции: от выбора исходной цели до определения областей применения найденных концепций. Без глубокой формализации любого вида интеллектуальной деятельности человека её автоматизация малоэффективна.

Вывод: чтобы повысить производительность разработки концепции будущего изделия, надо максимально формализовать этот процесс.

Выход



Интеллектуальная информационная система

Сложность автоматизации начальных этапов проектирования связана с тем, что разработка концепции требует привлечение дополнительных знаний из разных областей науки и техники

Для подобных мыслительных процессов используют **интеллектуальные информационные системы**, т.е. использующие для решения задач базу слабоформализованных знаний, описанных на языке, приближенном к естественному.

Центральной проблемой интеллектуальных информационных систем – это **представления и получения знаний**.

Модели представления знаний.

Формальные логические модели.

В формальных логических моделях в качестве языков представления знаний используются такие формализмы, как **исчисление предикатов**, реже – **исчисление высказываний**.

Продукционные правила, или просто **продукции**.

Продукционное правило P можно представить в следующем виде:

$$P = \langle T, L, (U \rightarrow A), Q \rangle$$

T – тип данных, входящих в базу данных (БД), к которым применима продукция;

L – условия, которым должна удовлетворять БД, чтобы к ней можно было применить данную продукцию;

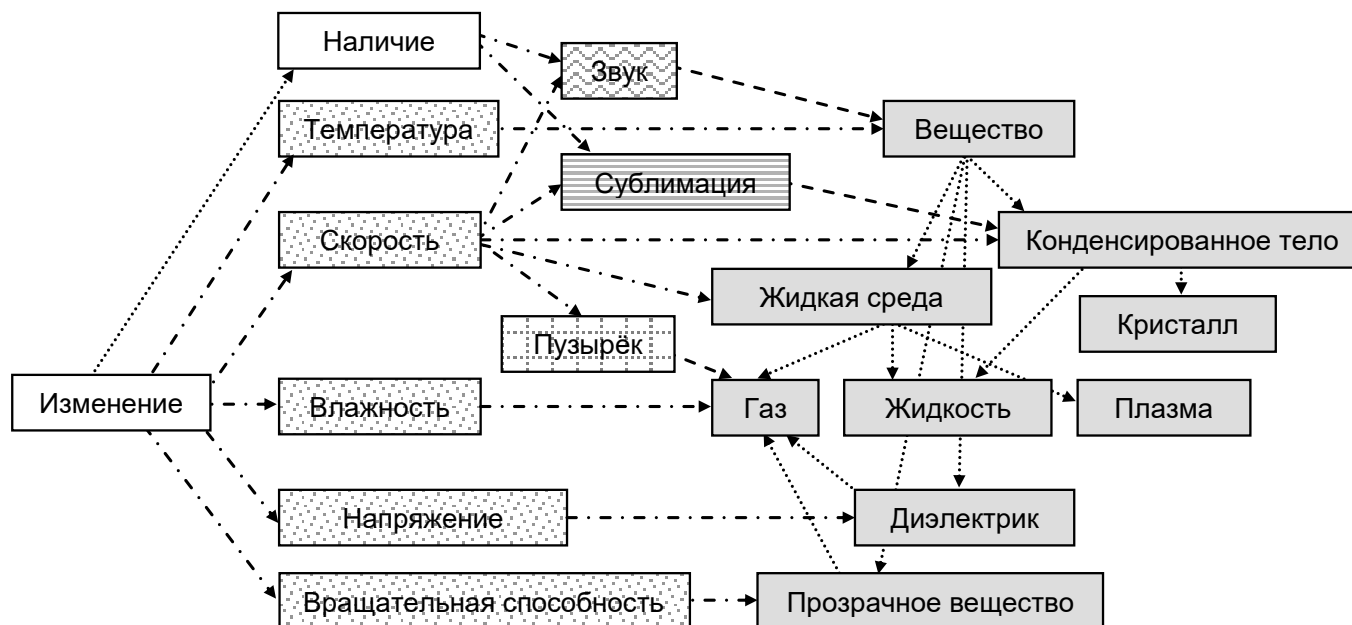
$U \rightarrow A$ – ядро продукции; здесь U – условие продукции, A – действие, которое должно быть совершено над БД в случае выполнения условия U .

Q – постусловие продукции.

Интеллектуальная информационная система

Семантические сети

Семантическая сеть представляет собой информационную модель предметной области. Такую сеть можно изобразить в виде ориентированного графа, вершины которого – это понятия, а дуги – различные отношения между ними.



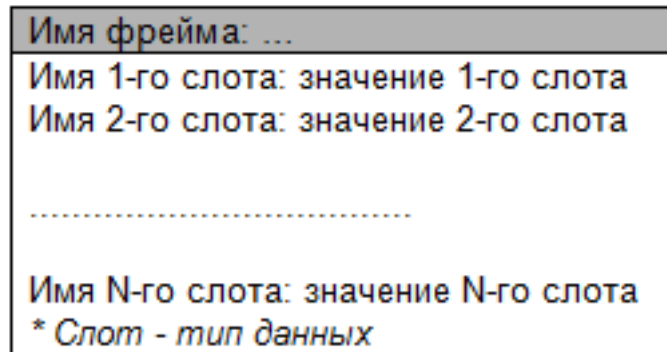
Здесь:

- ←..... – обратное отношение подчинения («некоторое ... – это ...»);
- > – отношение атрибутивной части («есть в», «реализуется на»);
- · -> – атрибутивное отношение («есть у»);
- – материальный объект;
- ▨ – динамический объект;
- ▤ – пространственный объект;
- ▥ – процесс;
- ▦ – свойство;
- – изменение.

Интеллектуальная информационная система

Фреймы

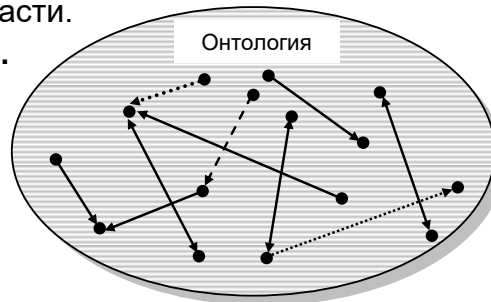
Фрейм – это своеобразная единица знаний, организованная вокруг некоторого понятия и содержащая данные о существенном, типичном и возможном для этого понятия.



Онтологии

В первом приближении, онтологию можно рассматривать как совокупность понятий, объединённых онтологическими отношениями в структуру, отображающую знания определённой предметной области.

Выбор модели получения знаний.



Здесь:

стрелки – различные онтологические отношения;

● – понятия предметной области.

Выход



Онтологическая система

На практике для описания предметной области используют не просто отдельную онтологию, а **онтологическую систему**.

$$\Sigma = \langle \Omega_g, \Omega_d, \Omega_p, \Xi \rangle.$$

Общая онтология Ω_g оперирует общими понятиями и отношениями, которые не зависят от предметной области. Это такие понятия, как «объект», «свойство», «значение», и отношения «есть», «иметь свойство», «иметь значение» и другие.

Предметная онтология Ω_d содержит понятия, описывающие предметную область, значимые для неё онтологические отношения, а также определения этих понятий и отношений.

Онтология задач Ω_p представляет собой множество задач, решаемых в онтологической системе. На этом множестве заданы отношения декомпозиции сложных задач и перехода между аналогичными задачами.

Механизм логического вывода Ξ содержит формальные правила, позволяющие преобразовывать знания, собранные в предметной онтологии Ω_d , для решения задач из онтологии Ω_p .

Если учесть конструкцию механизма логического вывода Ξ и необходимость, в ряде случаев, выбора задач в онтологии Ω_p , то модель онтологической системы Σ примет следующий вид

$$\Sigma = \langle \Omega_g, \Omega_d, \langle \Phi_d, S_d, A_d \rangle, \langle \Omega_p, \langle \Phi_p, S_p, A_p \rangle \rangle \rangle$$

где:

Σ – онтологическая система;

Ω_g – общая онтология;

Ω_d – предметная онтология;

$\langle \Phi_d, S_d, A_d \rangle = \Xi_d$ – механизм логического вывода для предметной онтологии Ω_d ;

Φ_d – формальная теория предметной онтологии Ω_d ;

S_d – формальная система, используемая в формальной теории Φ_d

; A_d – алгоритм решения задач онтологии Ω_p ; Ω_p – онтология задач;

$\langle \Phi_p, S_p, A_p \rangle = \Xi_p$ – механизм логического вывода для онтологии задач Ω_p ;

Φ_p – формальная теория онтологии задач Ω_p ;

S_p – формальная система, используемая в формальной теории Φ_p ;

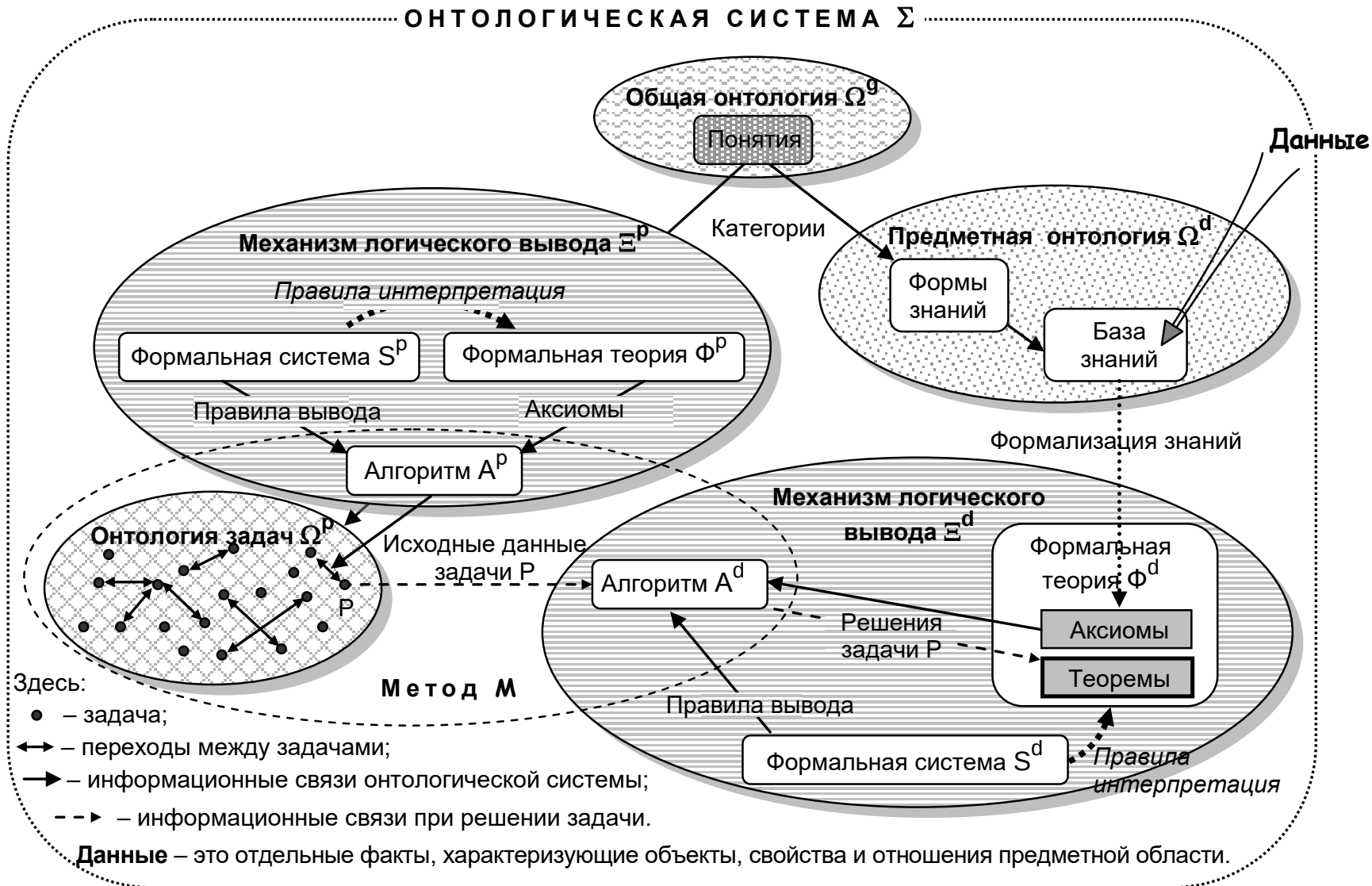
A_p – алгоритм вычисления переходов между задачами онтологии Ω_p ;

$\langle \Omega_p, \langle \Phi_p, S_p, A_p \rangle \rangle = \Sigma_p$ – онтологическая система задач.

Выход



Онтологическая система



Метод разработки метода

Конечной целью создания онтологической системы Σ является разработка формального метода M решения её задач.

$M = \langle \Omega_p, Ad, Ap \rangle$.

Полученная модель онтологической системы позволяет разделить процесс разработки её метода M на несколько относительно независимых этапов.

- (1) Выбор или разработка общей онтологии Ω_g .
- (2) Разработка онтологии задач Ω_p .
- (3) Выбор или разработка формальной системы S_p , служащей структурной основой формализации онтологии задач Ω_p .
- (4) Разработка на основе правил вывода формальной системы S_p , алгоритма Ap вычисления всех переходов между задачами онтологии Ω_p .
- (5) Доказательство всех теорем теории Φ_p – вычисление всех переходов между задачами онтологии Ω_p .
- (6) Постановка задач онтологической системы Σ в виде онтологии задач Ω_p .
- (7) Разработка предметной онтологии Ω_d , содержащая знания, необходимые для решения задач онтологической системы Σ .
- (8) Выбор или разработка формальной системы S_d , служащей структурной основой формализации предметной онтологии Ω_d .
- (9) Формализация предметной онтологии Ω_d и представление её в виде формальной теории Φ_d .
- (10) Разработка на основе правил вывода формальной системы S_d , алгоритма Ad доказательства теорем, которые являются решениями задач онтологии Ω_p .
- (11) Доказательство теорем теории Φ_d , которые являются решениями задач онтологии Ω_p .



Тернарная онтология

Общая онтология, как философская проблема, не имеет какого-либо одного, наилучшего решения. Её вид зависит от взгляда на мир. В концептуальном проектировании в качестве общей принята тернарная онтология, категориями которой являются 3 основных понятия: **объект**, **свойство** и **отношение**.

Согласно принятой классификации теорий общая онтология – это теория, предметом которой является определения её понятий **X** и формы представления знаний в виде структур, образованных онтологическими отношениями $\mathfrak{R}(X)$.

В тернарной онтологии дано взаимосвязанное определение более 30 понятий и онтологических отношений, таких как объект, свойство, отношение, структура, система, изменение, количество, качество, атрибутивное, реляционное и разные виды целочастных отношений.

Все возможные формы знаний тернарной онтологии $\mathfrak{R}(X)$ получены в виде интерпретированного бинарного исчисления. Это простейшее исчисление. Его алфавит состоит всего из двух знаков. Один из этих интерпретируется как понятие, а другой, как онтологическое отношение.

В тернарной онтологии вычислены 27 элементарных форм знаний. Эти формы знаний носят априорный характер.

Например.

Форма знаний	Интерпретация в области содержательной тернарной онтологии
$C-O$	Свойство C есть у объекта O
O_C	Объект O имеет свойство C
$R-\bar{O}$	Отношение R есть между объектами $\bar{O}$
$\bar{O}-R$	Объекты $\bar{O}$ имеют между собой отношение R
$O \{ \bar{O}$	Объект O состоит из объектов $\bar{O}$
$\bar{O} \} O$	Объекты $\bar{O}$ образуют объект O
$O_1 = O_2$	Объект O_1 совпадает с объектом O_2
$O_1 \neq O_2$	Объект O_1 отличается от объекта O_2
$O_1 \langle O_2$	Объект O_1 есть качественная часть объекта O_2
$O_1 \rangle O_2$	Объект O_1 имеет качественной частью объект O_2
$O_1 - O_2$	Объект O_1 есть атрибутивная часть объекта O_2
$O_1 \bar{-} O_2$	Объект O_1 имеет атрибутивной частью объект O_2
$O_1 \vdash O_2$	Объект O_1 есть составная часть объекта O_2
$O_1 \vdash O_2$	Объект O_1 имеет составной частью объект O_2

Выход

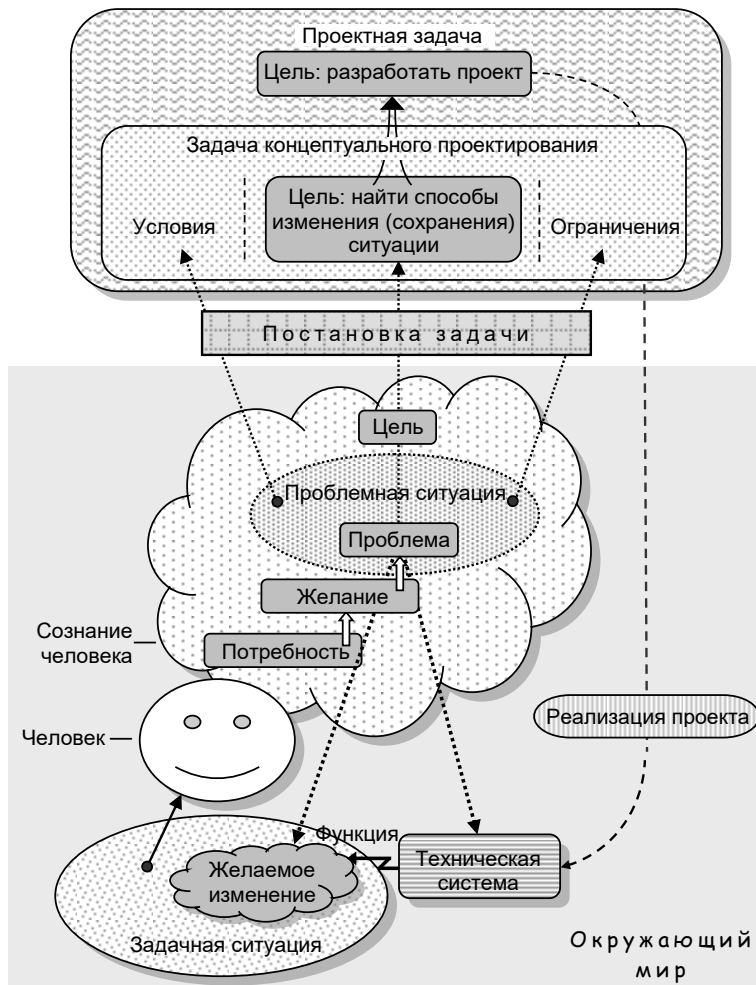


Задача концептуального проектирования

Модели задачи: Дано - Найти.

Цель - Условия – Ограничения

Место задачи концептуального проектирования



Здесь:

- → – отражение в сознание человека задачной ситуации в виде проблемной ситуации;

....► – проекция цели человека на задачуную ситуацию;

↑ – основные этапы проектирования.

Задача концептуального проектирования

Проблемная ситуация 1

Необходимо нагреть небольшой объём жидкости на борту космического аппарата, так чтобы физическое воздействие от нагревателя было минимальным на близрасположенные предметы.

В результате анализа проблемной ситуации выявлены основные части задачи концептуального проектирования, которые затем разделены на элементы.

Цель: найти концепции способов нагрева объёма жидкости.

Условия: объём жидкости – небольшой; жидкость находится в невесомости; предположительно жидкость находится в закрытом сосуде; наиболее вероятно, что объём жидкости разделён на отдельные капли, которые плавают в сосуде и окружены газом или паром;

Ограничения: при нагреве жидкости нельзя оказывать существенного физического воздействия на предметы, находящиеся рядом с нагревателем.



Типология задач концептуального проектирования

Исходными положениями типологии служат следующие утверждения:

1. По определению все технические цели – это желательное изменение окружающего мира.
2. Согласно принципу тернарности в мире существуют только объекты, свойства и отношения.
3. Согласно принципу усложнения любой объект можно рассматривать, как нерасчленённое целое – простой объект, или как сложный объект, в общем случае – систему.

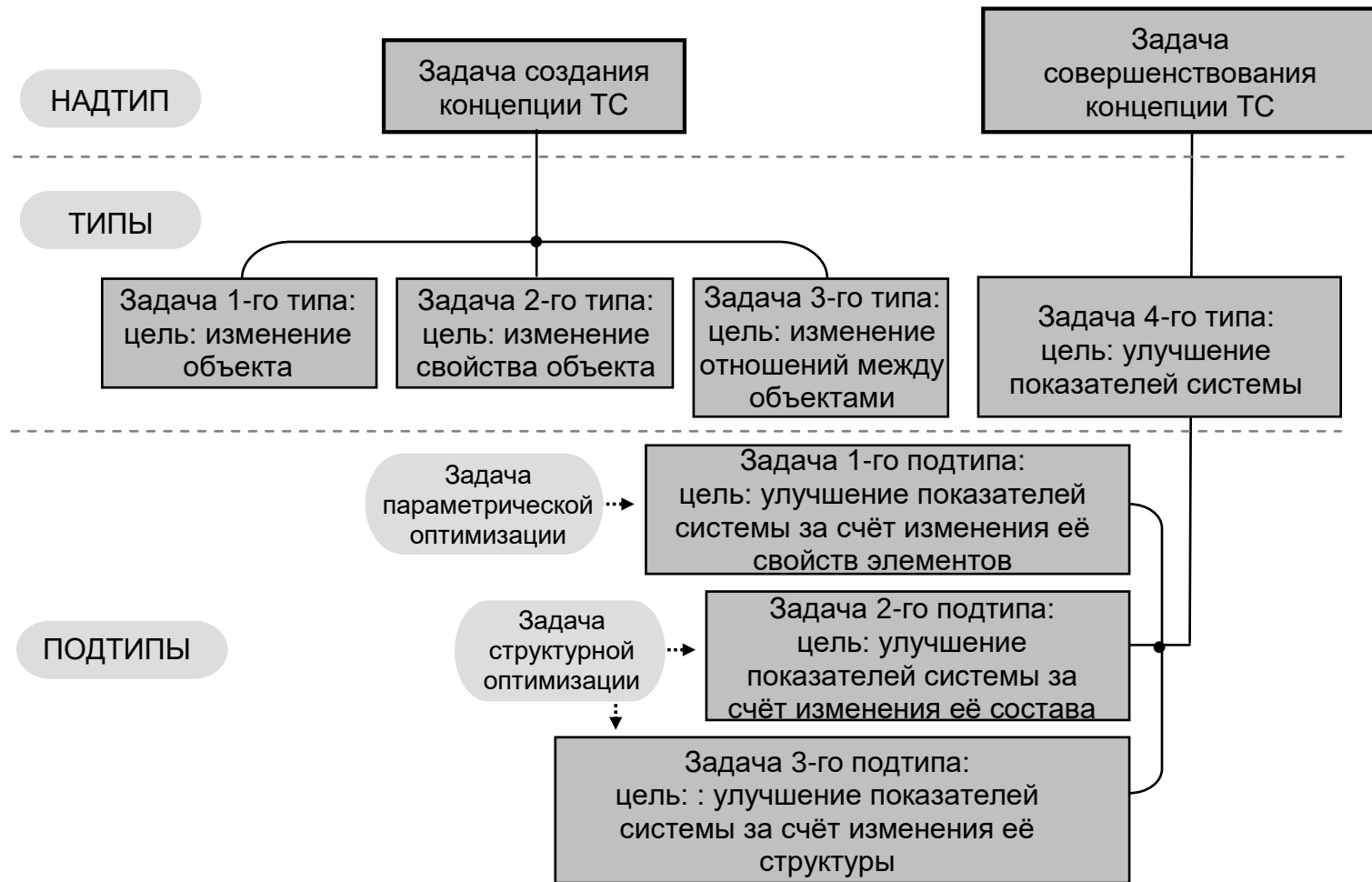
Следовательно возможны следующие цели задач концептуального проектирования:

- ❶ изменение свойства объекта;
- ❷ изменение свойства системы;
- ❸ изменение объекта;
- ❹ изменение системы;
- ❺ изменение отношения между объектами;
- ❻ изменение отношения между системой и объектом;
- ❼ изменение отношения между системами.

Используя определения тернарной онтологии можно доказать, все указанные цели можно свести к 4 типам.

Исходя из определения системы 4-й тип, задачу совершенствования технической системы, можно разделить на 3 подтипа

Типология задач концептуального проектирования



Задачи 1–3-го типов вместе с задачами 1–3-го подтипов образуют множество **частных задач концептуального проектирования**. В свою очередь, это множество делится на два подмножества: **частных задач создания** и **совершенствования концепций**.

Метод концептуального проектирования

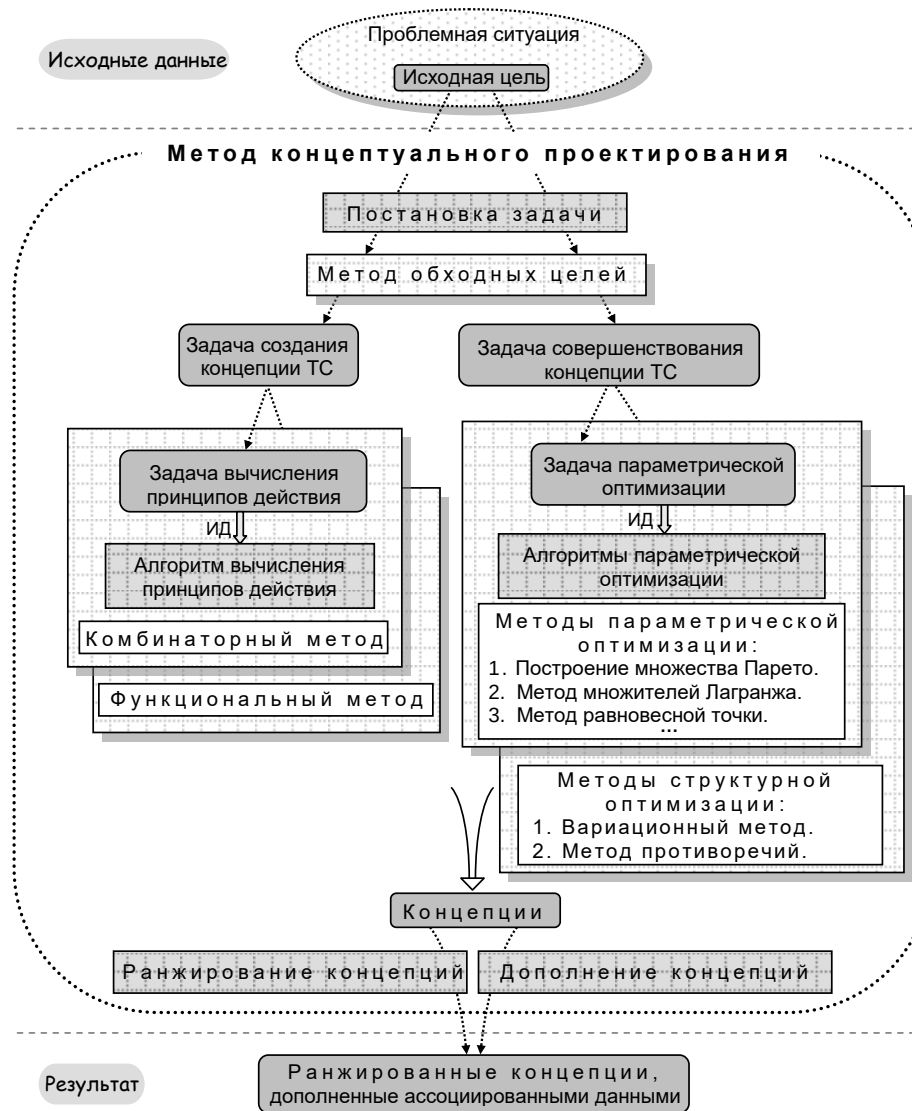
Из построенной типологии задач следует, что центральной частью метода концептуального проектирования являются **частные методы** решения задач создания и оптимизации концепций.

Кроме частных методов в концептуальном проектировании используются метод обходных целей, позволяющий вычислять переходы между эквивалентными целями, и три отдельные методики. Эти части метода концептуального проектирования непосредственно не применяются при вычислении концепций, а используются на начальных и завершающих стадиях концептуального проектирования для:

- постановки задачи концептуального проектирования (выбор исходной цели,
- анализ проблемной ситуации);
- поиска обходных целей;
- ранжирования по предпочтению вычисленных концепций;
- развития концепций за счёт ассоциированных данных.

Всё сказанное выше позволяет точно определить структуру метода концептуального проектирования и его связь с исходными данными и результатом.

Метод концептуального проектирования



Комбинаторный метод: использование научных знаний

Комбинаторный метод применяется для решения задачи создания концепций. Эта задача является открытой, поэтому для её решения необходимо привлечь дополнительные знания (доопределить условия). В комбинаторном методе, в качестве таких дополнительных знаний предлагается использовать **естественно-научные эффекты** – физические, химические, биологические и т. п.

Важность естественно-научных эффектов в технике очевидна. Функционирование всех используемых нами устройств – это результат реализации нескольких взаимосвязанных эффектов. Например, в двигателе внутреннего сгорания используются эффекты получения тепла в процессе горения топливной смеси и способности газа при расширении совершать механическую работу

Основная идея комбинаторного метода: выявить как можно больше эффектов, а затем найти среди них взаимосвязанные комбинации.

Коллер, Половинкин, и др.

Эффект – это причинно-следственное отношение между двумя явлениями, при котором наличие 1-го явления, называемого **причиной**, в определённых условиях приводит ко 2-му явлению, которое называется **следствием**.

Примеры:

1. Свет заряжает фотоэлектрет при условии, что он падает на этот электрет, который находится в магнитном поле (магнито-фотоэлектретный эффект).
2. Ультразвук, распространяющийся в жидкости, создаёт в ней свет (звукolumинесценция).
3. Нейтроны увеличивают модуль упругости полимера (радиационно-упругий эффект).

Естественно-языковому описанию эффекта соответствует **формула** вида

$$J_c \rightarrow J_e [U_{c.e}],$$

Условие реализации эффекта $U_{c.e}$ – это отношения между объектами O_c и O_e , указанных в его причине и следствии, а так же количественные отношения между их свойствами и отношениями, которые обуславливают существование связи между явлениями J_c и J_e .

Из принципа тернарности можно вывести типологию эффектов.



Комбинаторный метод: использование научных знаний

Из принципа тернарности можно вывести типологию эффектов.

Тип	Формула	Пример
1	$I_1 O_1 \rightarrow I_2 O_2$	Переменное магнитное поле (O_1) создаёт переменное электрическое поле (O_2)
2	$I_1 O_1 \rightarrow I_2 C(O_2)$	Ультрафиолетовое излучение (O_1) увеличивает (I_2) коэффициент поглощения света (C) раствором белка (O_2)
3	$I_1 O \rightarrow I_2 R(\bar{O})$	Ионизированный газ (O) создает (I_2) электрический контакт (R) между электродами ($\bar{O}$)
4	$I_1 C(O_1) \rightarrow I_2 O_2$	Электрическое напряжение (C) на обкладках конденсатора (O_1) создаёт (I_2) однородное электрическое поле (O_2)
5	$I_1 C_1(O) \rightarrow I_2 C_2(O)$	Температура (C_1) влияет на вязкость (C_2) жидкости (O)
6	$I_1 C(O) \rightarrow I_2 R(\bar{O})$	Изгиб (C) электрода (O) создаёт (I_2) тепловой контакт (R) между электродом и электролитом ($\bar{O}$)
7	$I_1 R(\bar{O}) \rightarrow I_2 O$	Контакт (R) разнородных металлов ($\bar{O}$) создаёт (I_2) ток (O) в каждом из них
8	$I_1 R(\bar{O}) \rightarrow I_2 C(O)$	Контакт (R) двух разнородных полупроводников ($\bar{O}$) увеличивает (I_2) концентрацию электронов (C) в одном из них (O)
9	$I_1 R_1(\bar{O}) \rightarrow I_2 R_2(\bar{O}_2)$	Механический контакт (R_1) между проводниками ($\bar{O}$) создает между ними ($\bar{O}$) электрический контакт (R_2)

Структуры физических объектов

Все явления, образующие причины и следствия эффектов, реализуются на **физических объектах** реального мира. Такие объекты имеют только материальную, пространственную и временную (темпоральную) определённости. Если использовать указанные определённости в качестве отличительных признаков, то можно выделить четыре типа физических объектов: материальные, пространственные, динамические объекты и процессы).

Объект

Материальным называется объект, имеющий ненулевую массу покоя или массу-энергию²⁾. Например, биоткань (как целостный объект), видимое излучение, вода, кристалл, электрическое поле и т. п.

Нематериальным называется объект, имеющий нулевую массу покоя или массу-энергию. Нематериальный объект не существует вне материального объекта³⁾.

Пространственным называется объект, имеющий только пространственную определённую, т.е. определённую протяжённость, форму и положение. Например, вакансия, кристаллическая решетка, мениск, ось, трещина и т.п.

Процессом называется объект, имеющий только временную определённую, т.е. определённую продолжительность во времени и скорость. Например, абсорбция, бурение, нагрев, очистка, прецессия и т.п.

Динамическим называется объект, имеющий как пространственную, так и временную определённую, т.е. определённую продолжительность во времени, скорость, протяжённость, форму и положение. Например, вихрь Абрикосова, дырка, звук, страт, электрический разряд и т.п.



Структуры физических объектов

Существует ряд правил, которые определяют допустимые онтологические отношения между физическими объектами.

Данную целостную структуру можно разделить на 10 линейных структур, содержащих все простейшие последовательности физических объектов.

Линейные структуры физических объектов

Формула	Пример
H-M	Оптическая ось (H) линзы (M)
T-M	Адсорбция (T) хлора (M)
D-M	Волна деформации (D) металла (M)
T-H-M	Деформация (T) кристаллической решётки (H) монокристалла (M)
T-[H-M]	Нагрев (T) поверхностного слоя (H) монокристалла (M)
H-[T-M]	Зона (H) разрушения (T) магнита (M)
H-D-M	Поверхность (H) солитона (D) в морской воде (M)
T-D-M	Перемещение (T) вихря (D) в воздухе (M)
T-[H-D-M]	Искривление (T) траектории движения (H) дырки (D) в полупроводнике (M)
H-[T-D-M]	Область (H) распространения (T) звука (D) в веществе (M)

Допустимые комбинации эффектов

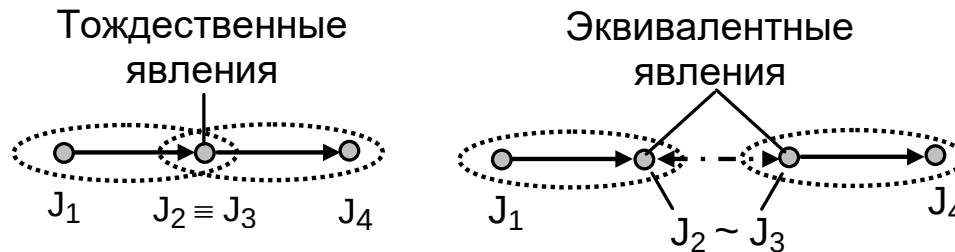
Комбинация эффектов имеют только совместимые, совместно реализуемые и непротиворечивые последовательности эффектов. Чтобы выделить последовательностей эффектов с такими свойствами из всех возможных, используются специальные формальные правила

Правило совместимости последовательности эффектов

Если между следствием 1-го эффекта и причиной 2-го эффекта существует отношение тождественности, равнозначности, прямого или обратного подчинения, то такая пара эффектов совместима.

Последовательность эффектов совместима, если она состоит из попарно совместимых эффектов.

Тем самым совместимость эффектов обусловлена тождественностью и эквивалентностью явлений, определяющих их следствия и причины, что хорошо иллюстрирует метаграфы, состоящие из пар безусловных эффектов.



Здесь:

○ — явление, ○ — безусловный эффект,

→ — причинно-следственное отношение («приводит к»),

← · → — отношение эквивалентности, $\equiv$ — отношение тождественности.

Выход



Допустимые комбинации эффектов

Правила противоречивости последовательности эффектов

- ✦ Любая последовательность совместимых эффектов, содержащая прямое и обратное отношение подчинённости явлений (при любом их взаимном положении в последовательности), разделённых хотя бы одним двойным эффектом, – непротиворечива.
- ✦ Любая последовательность совместимых эффектов, содержащая 2 прямых или 2 обратных отношения подчинённости явлений – непротиворечива.
- ✦ Любая последовательность совместимых одиночных эффектов, содержащая прямое и обратное отношение подчинённости явлений (при любом их взаимном положении в последовательности) – в общем случае противоречива.

Эффекты называются **совместно реализуемыми**, если условия их реализации не противоречат друг другу.

Правило совместной реализуемости эффектов

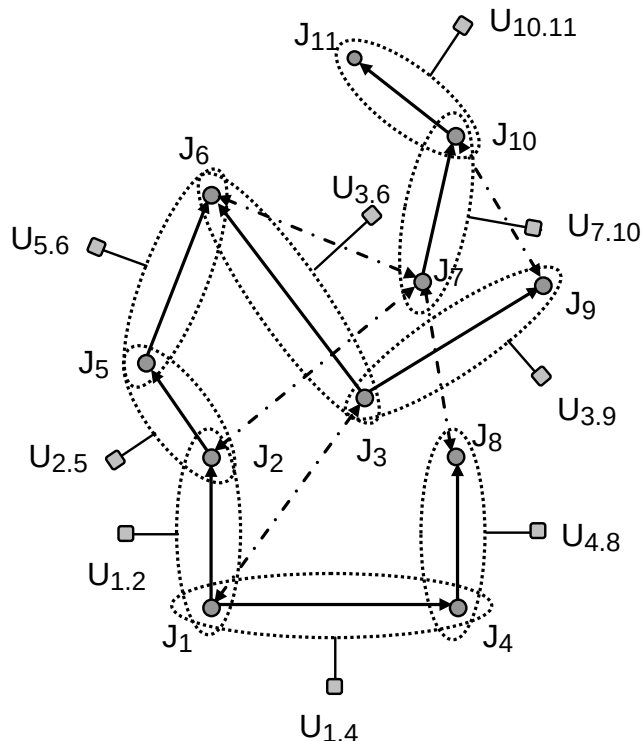
Совместимые эффекты совместно реализуются, если в их условиях нет несовместимых отношений между однотипными свойствами одного и того же объекта.



Физический принцип действия

Чтобы найти все допустимые последовательности эффектов, надо отдельные эффекты и отношениями эквивалентности явлений объединить в нечто целое. Такое объединение называется **массивом эффектов**.

Если учесть, что часть следствий одних эффектов тождественны причинам других эффектов, то подобный массив можно представить в виде **метаграфа эффектов** произвольной вложенности.



Здесь:

- — явления $J_1, \dots, J_{11}$, причины и следствия эффектов;
- — условия реализации эффектов $U_{1.2}, \dots, U_{10.11}$;
- — причинно-следственное отношения («приводит к»);
- — отношение «при условии, что»;
- ↔ — отношение эквивалентности явлений.

Физический принцип действия

* Задачи создания концепций *

Дано:

- Е – желаемое изменение компонента проблемной ситуации;
- В1, ... Вх – явления, существующие в проблемной ситуации.

Найти допустимые концепции способов желаемого изменения компонента проблемной ситуации Е за счёт существующих в ней явлений В1, ... Вх.

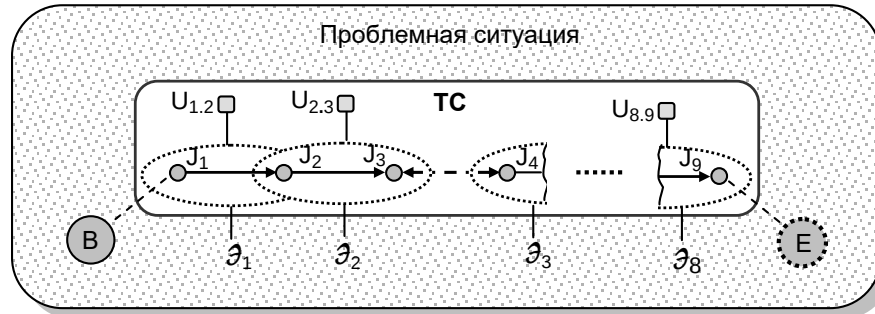
Последовательности эффектов Э1, Э2, ... , Эп, при которых она будет решением задачи создания концепций:

- 1-ое явление последовательности (причина эффекта или 1-ое явление отношения эквивалентности) соответствует условиям достижения цели задачи В;
- последнее явление последовательности (следствие эффекта или 2-ое явление отношения эквивалентности) соответствует цели задачи Е;
- эффекты последовательности – попарно совместимы,
- последовательность эффектов непротиворечива, совместно реализуема и удовлетворяет ограничениям задачи.

Концепция, удовлетворяющая данному списку требований, называется **линейным физическим принципом действия** ТС. В качестве примера такого принципа действия можно привести следующую последовательность эффектов.

Физический принцип действия

Концепция, удовлетворяющая данному списку требований, называется **линейным физическим принципом действия** ТС. В качестве примера такого принципа действия можно привести следующую последовательность эффектов.



Здесь:

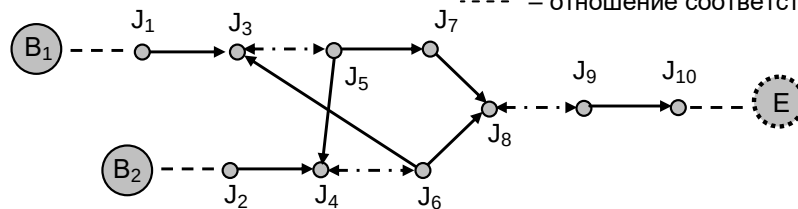
B, E – существующее и желаемое изменение компонентов проблемной ситуации;

$J_1, J_2, \dots, J_9, U_{1.2}, U_{2.3}, \dots, U_{8.9}$ – явления, причины, следствия и условия, совместно реализуемых эффектов $\partial_1 \dots \partial_8$;

— — — — — отношение «при условии, что»;

→ — — — — — причинно-следственное отношение («приводит к»);

- - - - - отношение соответствия *); $\leftrightarrow$ — — — — — отношение эквивалентности .



Здесь:

B_1, B_2 – существующие изменения элементов;

E – желаемое изменение элемента ситуации;

$J_1, J_2, \dots, J_{10}$ – причины и следствия эффектов;

→ — — — — — прямое причинно-следственное отношение «приводит к»;

- - - - - отношение соответствия ; $\leftrightarrow$ — — — — — отношение эквивалентности.

Разработка комбинаторного метода

- (1) Представить все технически значимые научные знания в виде эффектов.
- (2) Используя в качестве общей – тернарную онтологию, разработать (содержательную) онтологию эффектов.
- (3) Разработать формальную теорию физических принципов действия, аксиомами которой будут формулы эффектов и отношений эквивалентности понятий, а частью её теорем – искомые физические принципы действия.
- (4) Разработать алгоритм доказательства таких теорем, которые можно интерпретировать как решения задачи вычисления физических принципов действия.

Онтология эффектов – это специальная предметная онтология, фиксирующая знания об эффектах, открытых в естественно-научных и технических дисциплинах.



Разработка комбинаторного метода

$$\Omega E = \langle X_e, De(Z_e, Y_e), \Re(Z_e), \Re(Y_e) \rangle$$

где:

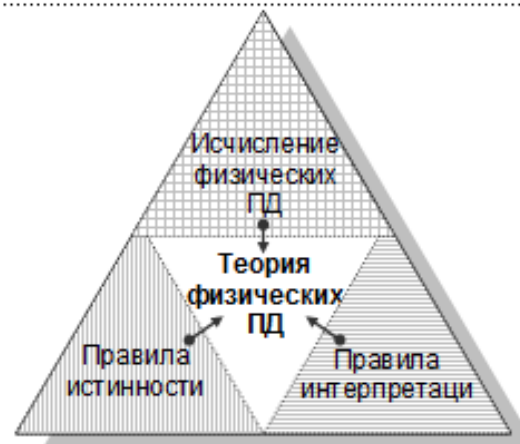
X_e – понятия онтологии эффектов;
 $D_e(Z_e, Y_e)$ – круговое квалификационное определение производных понятий Y_e ;
 $\Re_e(Z_e)$ – формы знаний онтологии эффектов;
 $\Re_e(Y_e)$ – база знаний онтологии эффектов;
 $X_e = \{Z_e, Y_e, \Re_e\}$;
 Z_e – категории онтологии эффектов: $\{X_e, \Re_e\}$;
 X_e – часть понятий тернарной онтологии Ω^T :
 $\{O, \bar{O}, C, R, I\}$;
 O – объект;
 $\bar{O}$ – объекты;
 C – свойство;
 R – отношение;
 I – изменение;
 $\Re_e$ – исходные понятия онтологии эффектов:
 $\{M, H, T, D\}$;
 M – материальный объект;
 H – пространственный объект;
 T – процесс;
 D – динамический объект;
 Y_e – производные понятия онтологии эффектов;

$\Re_e$ – онтологические отношения, используемые в онтологии эффектов: $\{\Re_T, \Re_e\}$;
 $\Re_T$ – онтологические отношения, полученные в тернарной онтологии: $\{-, \neg, \langle, -, \vdash, =, \neq, >, <, \rightarrow\}$;
 $-$ – атрибутивное отношение («есть у»);
 $\neg$ – реляционное отношение («есть между»);
 $\langle$ – целочастное отношение («состоит из»);
 $-$ – отношение атрибутивной части («есть у (в)»);
 $\vdash$ – отношение части («есть часть»);
 $=$ – «равно»;
 $\neq$ – «неравно»;
 $>$ – «больше»;
 $<$ – «меньше»;
 $\rightarrow$ – причинно-следственное отношение («приводит к»);
 $\Re_e$ – специальные онтологические отношения онтологии эффектов: $\{*, \vee, \wedge\}$;
 $*$ – отношение равнозначности;
 $\vee$ – прямое отношение подчинения;
 $\wedge$ – обратное отношение подчинения.



Разработка комбинаторного метода

Для формального решения задачи вычисления физических принципов действия необходим механизм логического вывода, связанный с онтологией эффектов. В качестве такого механизма используется формальная **теория физических принципов действия**. С помощью правил вывода этой теории из формул отношений между понятиями и формул эффектов выводятся формулы физических принципов действия.



Здесь ПД – принцип действия.

Пример логического вывода

© П₄ (а):

$$\begin{aligned}
 & \frac{I_3 C_{21} M_5 \rightarrow I_3 D_{10} M_5 \rightarrow I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \rightarrow I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} [1122 \circ I \ 6501 \circ I]}{I_3 C_{21} M_5 \rightarrow I_3 D_{10} M_5 \rightarrow I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \rightarrow I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23}} \rightarrow \\
 & \rightarrow \frac{I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \ 106 \ominus I \ I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \ 5093 \ominus I, I_3 C_7 M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} [113 \ominus II]}{[1122 \circ I \ 6501 \circ I \ I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \ 106 \ominus II \ I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \ 5093 \ominus I \ 113 \ominus II]} \succ \\
 & \succ I_3 C_{21} M_5 \rightarrow I_3 D_{10} M_5 \rightarrow I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \rightarrow I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} \rightarrow I_3 C_7 M_{23} \rightarrow \\
 & \rightarrow [1122 \circ I \ 6501 \circ I \ I_3 T_{17} M_5 \wedge I_3 T_{17} M_1 \ 106 \ominus II \ I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \ 5093 \ominus I \ 113 \ominus II] \square.
 \end{aligned}$$

Алгоритм вычисления принципов действия

Теории физических принципов действия указывает лишь на потенциальную возможность доказательства всех её теорем – проблема детерминизации формальной теории. Для решения этой проблемы необходимо разработать алгоритм вычисления принципов действия

Матрицы смежности, течение воды по почве и т.п. -> **комбинаторный алгоритм**. Основная идея: не вычислять всевозможные пути на графе, а строить их.

Пример вычисления принципа действия

Проблемная ситуация 2

В ряде случаев распределительные подстанции линии электропередач приходится размещать в районах, в которых выпадает большое количество осадков в виде дождя, снега и тумана. В холодный период времени, когда температура окружающего воздуха колеблется около 0°C , на проводах, соединяющих агрегаты этих подстанций, может нарасти корка льда значительной толщины. Иногда объём наросшего льда столь велик, что провода не выдерживают его веса и рвутся. Наросший лёд можно было бы сколоть. Однако по требованию техники безопасности для этого требуется полностью обесточить подстанцию, что недопустимо. Как предотвратить обрыв проводов на территории распределительной подстанции, не прекращая её работы?



Дано:

- желаемое изменение компонентов ситуации (цель) – удалить лёд с провода;
- существующее изменение компонентов ситуации (существующее явление) – наличие переменного тока в проводе.

Найти множество физических принципов действия в виде последовательности эффектов таких, что:

- причине 1-го эффекта соответствует существующему явлению – наличию переменного тока в проводе,
- следствию последнего эффекта соответствует цели – удалить лёд с провода,
- обязательных и недопустимых явлений нет.



Пример вычисления принципа действия

Вычислено 3 принципа действия

<u>2-й принцип действия</u>	<u>Техническое решение</u>
Формула: $I_3 D_{11} M_{28} \wedge I_3 D_{11} M_5 \rightarrow I_3 M_{18} \rightarrow I_3 T_{17} M_{34} \wedge I_3 T_{17} M_1 \rightarrow I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} \rightarrow I_3 T_6 M_{23} \rightarrow I_4 M_{23} [I_3 D_{11} M_{28} \wedge I_3 D_{11} M_5 1053 \circ \parallel 2003 \circ \parallel I_3 T_{17} M_{34} \wedge I_3 T_{17} M_1 106 \ominus \parallel I_3 T_{17} M_1 \vee I_3 T_{17} M_{23} 517 \ominus \parallel 612 \circ \parallel]$ Текстовое описание: «создание – переменный ток – твёрдый проводник» – частный случай «создание – переменный ток – проводник» (10002) Переменный ток в проводнике создает переменное магнитное поле (1053) Переменное магнитное поле нагревает ферромагнетик (2003) «создание – нагрев – ферромагнетик» – частный случай «создание – нагрев – вещество» (10010) Нагрев одного вещества приводит к нагреву другого вещества при условии, что вещества находятся в тепловом контакте; температура 1-го вещества больше температуры 2-го вещества (106) в частном случае «создание – нагрев – вещество» – это «создание – нагрев – твёрдое тело» (10013) Нагрев до температуры плавления приводит к плавлению твёрдого тела (517) Плавление устраняет твёрдое тело (612)	На провода, соединяющие агрегаты распределительной подстанции, на некотором расстоянии друг от друга надевают ферритовые насадки. В случае обледенения лед покрывает насадки. Переменный ток в проводе создаёт переменное магнитное поле. Это поле непрерывно <u>переманичивает</u> материал насадки, в результате чего она нагревается. За счёт теплопередачи лед нагревается на некотором расстоянии от насадки, в результате чего он плавится. Обледенение устранено. Чтобы зря не расходовать энергию на переманичивание насадок в тёплое время года, их делают из феррита с точкой Кюри, равной 0°C [А. С. 266 029].

Конструктивная схема противообледенительного устройства



Переменный ток и переменное магнитное поле на схеме не показаны.

Достоинства и недостатки комбинаторного метода

✳ Главные достоинства комбинаторного метода

1. Непосредственное преобразование научных знаний в физические принципы действия.
 2. Выявление физической реализуемости и логической непротиворечивости вычисленных физических принципов действия.
 3. Регулирование допустимой степени сложности и противоречивости вычисляемых физических принципов действия.
 4. Объединение вычисленных физических принципов действия в группы по степени схожести.
- Наилучшим образом комбинаторный метод можно применять для разработки новых физических принципов действия, непосредственно базирующихся на научных знаниях.

✳ Недостатки комбинаторного метода

1. Большое число решений задачи вычисления принципов действия.
Для больших баз эффектов (1000 и более) число решений некоторых задач могут состоять из сотен физических принципов действия. При этом часто эти физические принципы действия мало чем отличаются друг от друга, так как в них используется два-три начальных или конечных эффекта.
2. Фрагментарность описания вычисляемых физических принципов действия.
Формальное объединение текстовых, графических и математических описаний отдельных эффектов, образующих физических принцип действия, не позволяет получить его целостного описания в этих форматах.
3. Качественный характер решения задачи.
Невозможно формальным образом определить количественные характеристики вычисленных физических принципов действия. Поэтому очень часто среди вычисленных физических принципов действия попадаются такие, которые нельзя реализовать в рамках исходной ситуации.

Основные идеи функционального метода

Отличия функционального метода:

- в качестве элементов знаний используются элементарные функциональные структуры.
- результат применения функционального метода – это концепции ТС в виде комбинаций функциональных структур, образующих её принцип действия.

Переход от эффектов к функциональным структурам позволяет укрупнить исходные элементы знаний, что устраняет два первых недостатка комбинаторного метода: большое число схожих решений и высокую фрагментарность их описания.

Функциональной называется **структура**, образованная причинно-следственными отношениями между функциями, реализующимися в определённых условиях.

Примеры

1. Если создать электрическое поле и вращать проводник, то в проводнике возникает переменный электрический ток при условии, что проводник находится в электрическом поле.
2. Если прижать деталь 1 к детали 2 и нагреть деталь 1, то происходит взаимная диффузия материалов детали 1 и детали 2, что приводит к их соединению.
3. Если заполнить трубопровода жидкостью, охладить его участок до температуры замерзания жидкости, то происходит намораживание жидкости на внутреннюю стенку трубопровода, а затем и перекрытие трубопровода.

Естественно-языковому описанию функциональной структуры F соответствует формула вида $F = \check{R}(F_0, F_1, F_2, \dots F_j) [U]$.

F – функциональная структура,

$F_0, F_1, F_2, \dots F_j$ – функции,

$\check{R}$ – многоместное причинно-следственное отношение между функциями,

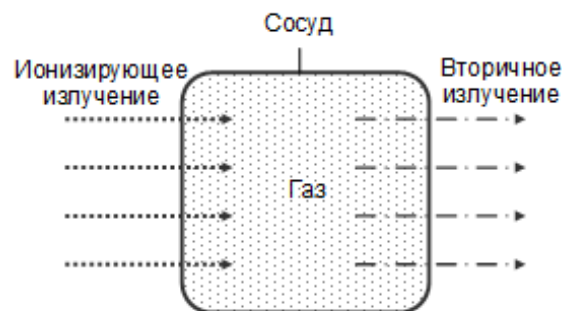
U – условия реализации функциональной структуры.



Основные идеи функционального метода

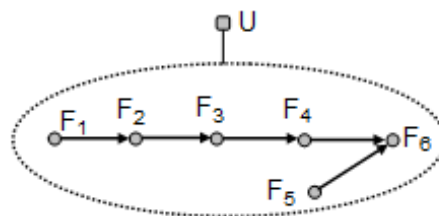
Пример.

Если создать ионизирующее излучение (F_1) и пропустить его на герметичный сосуд, заполненный газом, то происходит ионизация газа (F_2). Ионы газа рекомбинируют (F_3), испуская вторичное электромагнитное излучение (F_4). Если измерить интенсивность вторичного электромагнитного излучения (F_5), то можно определить давление газа в герметичном сосуде (F_6).



Конструктивная схема функциональной структуры
«Вторичное электромагнитное излучение определяет давление газа»

Данную функциональную структуру можно представить в виде следующего метаграфа.



Здесь:

- – функция; ■ – условия реализации функциональной структуры, ○ – метавершина,
- – причинно-следственное отношение «приводит к» (дуга),
- – отношение «при условии, что» (ребро).

Благодарю за внимание.

