

## 14. Лекция: Модели знаний

Рассматриваются основные модели знаний, их структура, атрибуты, примеры.

Цель лекции: введение в основные модели представления и формализации знаний, их атрибуты и структуры.

Такие понятия как "интеллект", "интеллектуальность", у специалистов различного профиля (системного анализа, информатики, нейропсихологии, психологии, философии и др.) могут несколько различаться, причем это не несет в себе никакой опасности.

Примем, не обсуждая ее положительные и отрицательные стороны, следующую "формулу интеллекта":

"Интеллект = цель + факты + способы их применения",

или, в несколько более "математическом", формализованном виде:

"Интеллект = цель + аксиомы + правила вывода из аксиом".

При поиске наиболее удобных, рациональных средств и форм информационного обмена человек чаще всего сталкивается с проблемой компактного, однозначного и достаточно полного *представления знаний*.

*Знания* - система понятий и отношений для такого обмена. Можно условно классифицировать знания в предметной области на *понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические знания* и *метазнания*.

*Понятийные знания* - набор понятий, используемых при решении данной задачи, например, в фундаментальных науках и теоретических областях наук, т.е. это понятийный аппарат науки.

*Конструктивные знания* - наборы структур, подсистем системы и взаимодействий между их элементами, например, в технике.

*Процедурные знания* - методы, процедуры (алгоритмы) их реализации и идентификации, например, в прикладных науках.

*Фактографические* - количественные и качественные характеристики объектов и явлений, например, в экспериментальных науках.

*Метазнания* - *знания* о порядке и правилах применения *знаний* (*знания о знаниях*).

*Представление знаний* есть процесс, конечная цель которого - представление информации (семантического смысла, значения) в виде информативных сообщений (синтаксических форм): фраз устной речи, предложений письменной речи, страниц книги, понятий справочника, объектов географической карты, мазков и персонажей картины и т.п.

Для этого необходимо пользоваться некоторой конструктивной системой правил для их представления и восприятия (прагматического смысла). Назовем такую систему правил *формализмом представления знаний*. Неформализуемые *знания* - это *знания*, получаемые с применением неизвестных (неформализуемых) правил, например, *эвристик*, интуиции, здравого смысла и принятия решений на их основе.

Человек пользуется естественным формализмом - языком, письменностью. Язык, языковые конструкции развиваются благодаря тому, что человеческие знания постоянно нуждаются в языковом представлении, выражении, сжатии, хранении, обмене. Мысль, которую нельзя выразить в языковой конструкции, не может быть включена в информационный обмен. Язык - форма представления **знаний**. Чем многообразнее язык народа, чем больше **знаний** он может отражать, тем богаче культура народа. В то же время, предложения и слова языка должны иметь однозначный семантический смысл. Особую роль играет язык математики как язык наук (не только точных, но и гуманитарных), формализации **знаний**, основа изложения системы **знаний** в естественных науках. Свой язык имеют химия, физика, экономика, информатика и т.д. Языки наук часто пересекаются и взаимообогащаются при исследовании междисциплинарных проблем.

Использование языковых систем и диалектов повышает надежность информационного обмена, снижая возможность неправильного истолкования передаваемой информации и уровень шумов в сообщениях. Главное назначение языка науки - создавать и использовать типовые, "стандартные" формы изложения, сжатия и хранения **знаний**, ликвидация полисемии (смысловой многозначности) естественного языка. Полисемия, обогащая естественный язык, делая его богаче и выразительнее, тем не менее, является в информационном обмене источником семантического шума, смысловой неоднозначности, а часто - и алогичности, неалгебраичности.

Пример. Найдем и формализуем закономерность в последовательности 1, 10, 11, 100, 111, 1000, 1111, 10000, ... . Из сравнения членов  $A[i]$  ( $i=1, 2, \dots$ ) последовательности, стоящих на четных местах и на нечетных местах, видно, что: 1) элемент на нечетном месте получается из элемента на предыдущем нечетном месте добавлением единицы справа к нему; 2) каждый элемент на четном месте получается из элемента на предыдущем четном месте добавлением справа к нему нуля. Это словесно описанное (неформализованное) правило можно записать на математическом языке, в аналитическом виде. Получим для случаев 1) и 2):  $A[2n]=10A[2n-2]$ ,  $A[2n-1]=10A[2n-1]+1$ ,  $n=1, 2, \dots$ . Можно записать формулу, объединяющую обе эти формулы:  $A[2n+m]=10A[2n+n-2]+m$ , где  $m=0$  или  $m=1$ . Лучшая форма (с меньшей полисемией):  $A[2n+\text{mod}(n, 2)]=10A[2n+\text{mod}(n, 2)-2]+\text{mod}(n, 2)$ .

Пример. Формализуем закон формирования последовательности: АВ, ААВ, АВВ, АААВ, АВВВ, ... . Словесное описание правила имеет вид: к слову, стоящему на очередном нечетном месте, добавляется с конца символ "В", а к слову, стоящему на очередном четном месте слева, добавляется символ "А". "Формульная" запись правила:  $X_{2n+1}=X_{2n-1}+B$ ,  $X_{2n}=A+X_{2n-2}$ ,  $n=1, 2, 3, \dots$ . Здесь операция "+" означает конкатенацию (присоединение текста к тексту справа), а  $X_n$  - элемент последовательности на n-м месте.

Одной из важных форм (методов) формализации **знаний** является их представление классом (**классификация**).

**Классификация** - выделение некоторого критерия (некоторых критериев) распределения и группировка систем или процессов таким образом, что в одну группу попадают лишь те системы

(процессы), которые удовлетворяют этому критерию (значению критерия). **Классификация** - это метод научной систематики, особенно важный на начальном этапе формирования базовых **знаний** научного направления. **Классификация**, установление эквивалентности объектов, систем позволяет решать такие важные задачи информатики как фиксация **знаний**, поиск по образцу, сравнение и др.

Пример. Такими системами являются классификационная система К. Линнея в ботанике, систематика живых организмов, таблица элементов Д. Менделеева, систематика экономических систем, механизмов, "табель о рангах", введенная Петром Первым в 1722 г. Эта табель подразделяла чины на 14 рангов. Каждому чину соответствовала определенная должность. Первые 6 рангов статской и придворной служб и первый обер-офицерский чин в армии давали право на получение потомственного дворянства, что способствовало формированию дворянской бюрократии. Таким образом, "табель о рангах" выполняла социально-экономическую **классификацию** определенной (определяющей) части общества, социально-экономическое стимулирующее упорядочивание.

Указанные выше классификационные системы - иерархические структуры (модели) **представления знаний**. Отдельные понятия, факты, **знания**, связаны между собой отношениями дедуктивного (от частного к общему), индуктивного (от общего к частному) или индуктивно-дедуктивного вывода и формализуются соответствующими формальными структурами: древовидными, морфологическими, реляционными и др.

Пример. Рассмотрим систему "Фирма". Опишем всех сотрудников фирмы в лексикографически упорядоченном списке с именем "Сотрудники", указывая табельный номер, ФИО, год рождения, образование, специальность, разряд, стаж работы. Этот список дает нам **знание** о коллективе, его возрастных и профессиональных качествах и др. Составим другой список - "Заработная плата", где укажем для каждого сотрудника условия оплаты, величину их заработка (стоимости единицы времени их работы). Этот список дает нам **знания** о системе оплаты фирмы, ее финансового состояния и др. Оба списка содержат необходимый объем **знаний** о трудовом коллективе, если цель исследования этой системы - начисление заработной платы. Здесь мы наблюдаем и древовидные, и морфологические, и реляционные модели **представления знаний**.

Для более строгой формализации (сложных и динамических) **знаний** в последнее время используют такой перспективный инструментарий, как **категории** и **функторы**. Впрочем, математическая сложность такого аппарата не дает применять его на первоначальных этапах формализации **знаний** и он чаще используется лишь тогда, когда **знания** получили достаточно полную математическую форму описания.

Появление и развитие объектно-ориентированных технологий и объектно-ориентированного проектирования, использующих близкие по духу идеи, тем не менее, актуализируют аппарат **категорий** и **функторов**, поэтому введем основные начальные понятия.

**Категория**  $K = \langle S, M \rangle$  - это совокупность  $S$  элементов (компоненты, характеристики, параметры, свойства и другие параметры исследуемой системы), называемых объектами **категории**, и совокупность преобразований, морфизмов  $M$  - специального типа преобразований, которые позволяют

описывать (определять), например, эквивалентность, инвариантность и другие свойства. Объекты и морфизмы связаны между собой так, что:

1. каждой упорядоченной паре объектов  $A, B \in S$  сопоставлено множество  $M(A, B)$  морфизмов из  $M$ ;
2. каждый морфизм  $m \in M$  принадлежит только одному из множеств  $M(A, B)$ ;
3. в классе морфизмов  $M$  введен закон композиции морфизмов: произведение  $a \circ b$  морфизма  $a \in M(A, B)$  на морфизм  $b \in M(C, D)$  определено и принадлежит  $M(A, B)$  тогда и только тогда, когда объект  $B \in X$  совпадает с объектом  $C \in X$ , причем композиция морфизмов ассоциативна:  $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$ ;
4. в каждом множестве  $M(A, A)$  содержится единичный или тождественный морфизм  $IA$ :  $\forall a \in M(X, A), \forall b \in M(A, Y), \forall A, X, Y \in F, \exists IA: a \circ IA = a, IA \circ b = b$ .

*Категории*, их использование для *представления знаний* адекватны мыслительным процедурам человека, учитывающим опыт, интуицию, понимание мира в терминах *категорий*, которым мы затем приписываем реальные оболочки, конкретные структуры. Объекты *категории* могут быть связаны между собой, влиять друг на друга, даже если у них нет общего (формального) сходства, а свойства *категорий* отражают сущность способностей человека, его поведения в окружении.

*Функтор* - обобщение понятия *категории*. Для введения преобразования между *категориями* используем понятие *функтора*. *Функтор* - аналог семантической операции, т.е. преобразования информации, приводящего к появлению некоторого смыслового (семантического) содержания.

*Функтор* определяется парой отображений, которые сохраняют композицию морфизмов и тождественные отображения (сохраняют смысл информации при преобразованиях): одно отображение преобразует объекты  $S$  (грубо говоря, - информацию), а другое - преобразует морфизмы  $M$  (грубо говоря, - семантический смысл).

Самый плохо формализуемый в информатике процесс - это процесс образования семантического смысла. Строгая математическая основа аппарата *категорий* и *функторов* позволяет исследовать семантический смысл математически корректно (путем построения семантических сетей, анализа *фреймов*, продукционных правил и др.), что является необходимым условием формализации *знаний*, разработки баз *знаний* и систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

Категорийно-функторный подход к проблеме формализации *знаний* позволяет формализовать многие интуитивно используемые понятия.

Пример. Формализуем, например, понятия "формула", "теория". Формула  $F_i$  - запись вида  $R_i^{(k)}$  ( $x_1, \dots, x_k$ ), которую следует читать так:  $k$  переменных  $x_1, \dots, x_k$  удовлетворяют отношению  $R_i^{(k)}$ . В каждой  $i$ -ой формуле  $F_i$  может быть различное число свободных (не связанных) переменных. Понятие "(формальная) теория" можно определить как кортеж  $T = \langle S, F \rangle$ , где  $S$  - сигнатура (множество определенных, разрешенных операции), а  $F$  - множество формул без свободных переменных (аксиом теории). Если дополнительно определено и множество правил вывода  $P$ , то  $T = \langle S, F, P \rangle$ . Отсюда

видно, что формальная теория базируется на конкретной предметной области, определяемой сигнатурой.

Для компьютерного представления и обработки *знаний* и данных о предметной области (об объектах, процессах, явлениях, их структуре и взаимосвязях), они должны быть формализованы и представлены в определенном формализованном виде.

При традиционном способе реализации математической модели, *знаний*, заложенных в ней, строится моделирующий алгоритм (моделирующая программа), т.е. *знания* процедурно зависят от метода (алгоритма) обработки. В интеллектуальных системах (в системах искусственного интеллекта, в частности) *знания* о предметной области представлены в виде декларативной (описательной) модели формирования базы *знаний* и соответствующих правил вывода из нее и явно не зависят от процедуры их обработки. Для этого используются специальные модели *представления знаний*, например, продукционные, *фреймовые*, сетевые и логические. При обработке модели *знаний* используются процедуры логического вывода, называемые также механизмом или машиной вывода. Обычно в базе *знаний* зафиксированы общие закономерности, правила, описывающие проблемную среду и предметную область.

Процедуры вывода позволяют на основании общих правил вывести решение для заданной конкретной ситуации, описываемой некоторыми исходными данными. Цепочка логического вывода строится по мере приближения к решению, в зависимости от выведенных на каждом шаге данных и выведенных к этому шагу новых *знаний*. Конкретные формы организации дедуктивного вывода зависят от того, в какой форме представлены *знания* в базе *знаний* (на каком языке *представления знаний*).

**Продукционная модель представления знаний** наиболее распространена в приложениях. Модель реализуется правилами-продукциями:

если <условие> то <заключение>.

В качестве условия может выступать любая совокупность суждений, соединенных логическими связками и ( $\wedge$ ), или ( $\vee$ ).

Пример. Продукцией будет следующее правило:

если (курс доллара-растет)  $\vee$  (сезон-осень)  $\wedge$  (число продавцов-убывает)  
то (прогноз цен на рынке жилья - рост рублевых цен на квартиры) .

Такого рода правила и *знания* о ценах, предложении и спросе на рынке жилья могут стать базой для базы *знаний* о рынке жилья и экспертной системы для риэлторской группы (фирмы).

Существуют две основные стратегии вывода на множестве правил-продукций:

1. прямой вывод (вывод от исходных данных-фактов, аксиом - к цели, по пути вывода пополняя исходную базу *знаний* новыми полученными истинными фактами; процесс заканчивается лишь тогда, когда выведен факт, эквивалентный искомому);
2. обратный вывод (вывод от целевого факта к данным, на очередном шаге отыскивается очередной факт, в заключительной части содержится факт, эквивалентный исходному

факту; процесс заканчивается тогда, когда для каждого факта, выведенного на очередном шаге, не будет найдено правило, имеющее этот факт в качестве заключения, а посылками - исходные или выведенные на предыдущих шагах факты).

Обе приведенные стратегии вывода имеют недостатки, достоинства и модификации.

Пример. Если все множество правил-продукций разбито на группы по некоторому признаку (структурировано), то вместо полного или случайного перебора всех правил при прямом и обратном выводе осуществляется целенаправленный переход от одной группы правил к другой. Используются также смешанные стратегии вывода, сочетающие прямой и обратный вывод.

*Продукционные модели* удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, так как они более формализованы и достаточно строгие (теоретические), модульные (продукции явно между собой не связаны, поэтому их можно модифицировать по модульной технологии), соответствуют долговременной памяти человека.

*Представление знаний в виде семантической сети* является одной из основных моделей представления знаний.

**Семантическая сеть** - это ориентированная графовая структура, каждая вершина которой отображает некоторое понятие (объект, процесс, ситуацию), а ребра графа соответствуют отношениям типа "это есть", "принадлежать", "быть причиной", "входить в", "состоять из", "быть как" и аналогичным между парами понятий. На *семантических сетях* используются специальные процедуры вывода: пополнение сети, наследование свойств, поиск по образцу и др.

Пример. Рассмотрим факт: "причиной неритмичной работы предприятия является старое оборудование, а причиной последнего - отсутствие оборотных средств". *Семантическая сеть* может содержать вершины "оборотные средства", "старое оборудование", соединяемые ребрами - отношениями типа "быть причиной".

Достоинство *семантических сетей* - наглядность *представления знаний*, с их помощью удобно представлять причинно-следственные связи между элементами (подсистемами), а также структуру сложных систем. Недостаток таких сетей - сложность вывода, поиска подграфа, соответствующего запросу.

Характерная особенность *семантических сетей* - наличие трех типов отношений:

1. класс - элемент класса (часть - целое, класс - подкласс, элемент - множество и т.п.);
2. свойство - значение (иметь свойство, иметь значение и т.п.);
3. пример элемента класса (элемент за, элемент под, раньше, позже и др.).

**Фреймовая модель представления знаний** задает остов описания класса объектов и удобна для описания структуры и характеристик однотипных объектов (процессов, событий) описываемых **фреймами** - специальными ячейками (шаблонами понятий) фреймовой сети (*знания*).

**Фрейм** - концентратор *знаний* и может быть активизирован как отдельный автономный элемент и как элемент сети. **Фрейм** - это модель кванта *знаний* (абстрактного образа, ситуации), активизация **фрейма** аналогична активизации этого кванта *знаний* - для объяснения, предсказания и т.п. Отдельные

характеристики (элементы описания) объекта называются *слотами фрейма*. *Фреймы* сети могут наследовать *слоты* других *фреймов* сети.

Различают фреймы-образцы (прототипы), хранящиеся в базе *знаний*, и фреймы-экземпляры, создаваемые для отображения реальных ситуаций для конкретных данных.

Фреймовое представление данных достаточно универсальное. Оно позволяет отображать *знания* с помощью:

1. фрейм-структур - для обозначения объектов и понятий;
2. фрейм-ролей - для обозначения ролевых обязанностей;
3. фрейм-сценариев - для обозначения поведения;
4. фрейм-ситуаций - для обозначения режимов деятельности, состояний.

Пример. Фрейм-структурами являются понятия "заем", "вексель", "кредит". Фрейм-роли - "кассир", "клиент", "сервер". Фрейм-сценарии - "страхование", "банкинг", "банкротство". Фрейм-ситуации - "эволюция", "функционирование", "безработица".

Пример. Например, возьмем такое понятие, как "функция". Различные функции могут отличаться друг от друга, но существует некоторый набор формальных характеристик для описания любой функции (*фрейм* "Функция"): тип и допустимое множество изменений аргумента (область определения функции), тип и допустимое множество значений функции (множество значений функции), аналитическое правило связи аргумента со значением функции. Соответственно, могут быть определены *фреймы* "Аргумент", "Значение функции", "Закон соответствия". Далее можно определить *фреймы* "Тип аргумента", "Вычисление значения функции", "Операция" и др. Пример *слотов* для *фрейма* "Закон соответствия": аналитический способ задания закона; сложность вычисления (реализации). Чтобы описать конкретное значение *фрейма*, необходимо каждому *слоту* придать конкретное значение, например, таким образом:

Имя *фрейма* - Функция;

Аргумент -  $x$ ;

Значение функции -  $y$ ;

Закон соответствия - квадратичный.

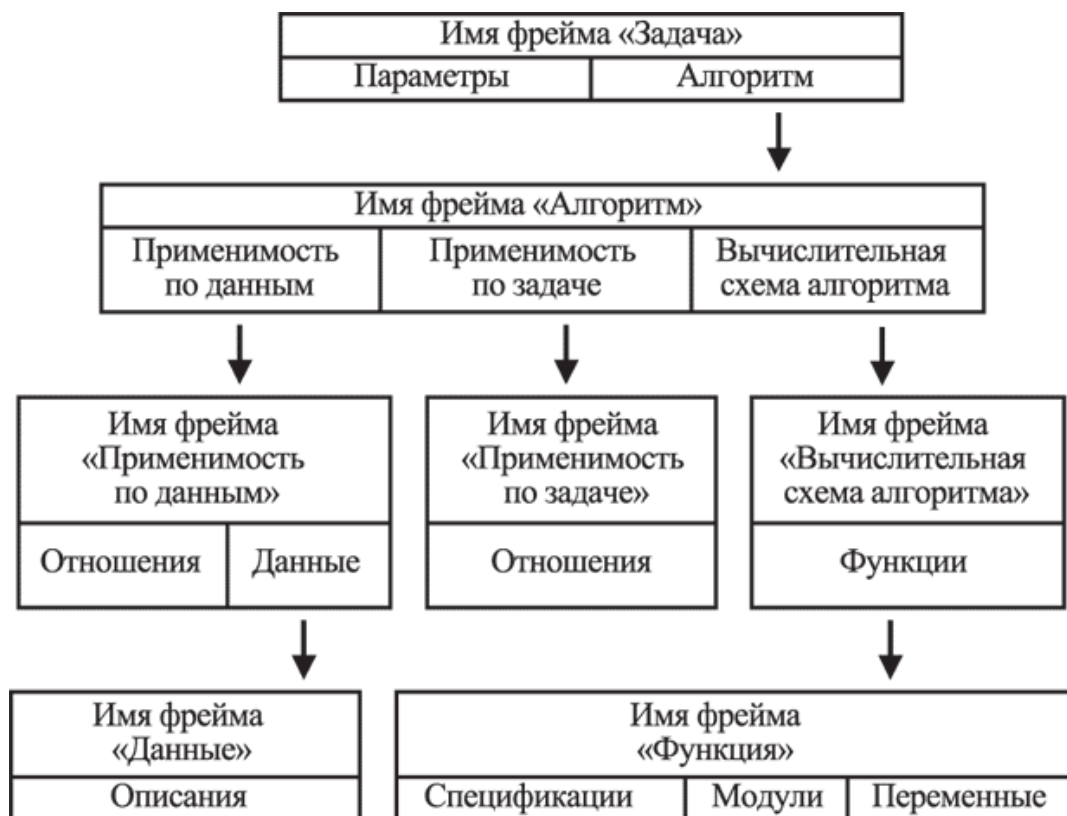
*Слоты*:

Значения аргумента -  $R$ ;

Способ задания функции -  $y=ax^2+bx+c$ ;

Сложность вычисления - 7.

Пример. *Фрейм* "Задача вычислительного типа" - на рис.



### Структура фрейма "Задача вычислительного типа"

Фреймовое представление наглядно и структурировано (модульно) и позволяет получать описание системы в виде связанных, иерархических структур (модулей - *фреймов*, единиц представления знаний).

**Логическая** (предикатная) **модель представления знаний** основана на алгебре высказываний и предикатов, на системе аксиом этой алгебры и ее правилах вывода. Из предикатных моделей наибольшее распространение получила модель предикатов первого порядка, базирующаяся на терминах (аргументах предикатов - логических констант, переменных, функций), предикатах (выражениях с логическими операциями). Предметная область описывается при этом с помощью предикатов и системы аксиом.

Пример. Возьмем утверждение: "Инфляция в стране превышает прошлогодний уровень в 2 раза". Это можно записать в виде *логической модели*:  $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, n)$ , где  $r(x, y)$  - отношение вида " $x=ny$ ",  $\text{InfNew}$  - текущая инфляция в стране,  $\text{InfOld}$  - инфляция в прошлом году. Тогда можно рассматривать истинные и ложные предикаты, например,  $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 2)=1$ ,  $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 3)=0$  и т.д. Очень полезные операции для логических выводов - операции импликации, эквиваленции и др.

*Логические модели* удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, они формализованы, строги (теоретические), для их использования имеется удобный и адекватный инструментарий, например, язык логического программирования Пролог.

Модель предметной области можно определить упрощенно в виде:

<модель предметной области>=<понятийные знания>+<конструктивные знания>.



При реализации указанных выше моделей используются *эвристики* - эмпирические или полуэмпирические правила, с помощью которых эксперт (экспертная группа) в отсутствие алгоритма (например, задача плохо структурируема) пытается найти решение, моделируя возможный ход рассуждений эксперта на основе эвристической информации, получаемых в результате опыта, наблюдения, сбора и анализа статистики.

Пример. Сбор эвристической информации у представителей рынка приводит к следующим *знаниям*, которые можно представить, например, *семантической сетью* или продукциями:

1. нужно рекламировать свой товар активно в начальный период;
2. нужно поднимать цены в условиях отсутствия конкуренции;
3. нужно опускать цены в условиях жесткой конкуренции;
4. нужно стараться быть монополистом на рынке и др.

Многие *знания*, особенно находящиеся на стыке наук, трудно формализовать и описать формальными моделями, исследовать аналитически. В таких случаях часто применяют *эвристики*, эвристические процедуры, использующие аналоги, опыт поиска нового, исследования родственных задач, перебор вариантов с учетом интуиции.

Пример. Такими процедурами учат компьютер играть в шахматы. Шахматная программа - один из самых ранних примеров невычислительного применения ЭВМ. Если в 50-х годах она "играла" на уровне "разрядника", то за 40-50 лет она "научилась играть" на уровне чемпиона мира.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое знания, метазнания? Что такое представление знаний?
2. Что такое категория, функтор?
3. Каковы типы моделей знаний, их характеристики?

### **Задачи и упражнения**

1. Формализуйте понятия "Решить задачу", "Решение задачи", "Метод решения задачи", "Алгоритм решения задачи".
2. Постройте одну *продукционную* и одну *семантическую* модели *знаний* по специальности.
3. Постройте одну *фреймовую* и одну *логическую* модели *знаний* по специальности.

### **Темы для научных исследований и выступлений**

1. Формализованное и не формализованное *знание*. Методы формализации *знания*.
2. Модели *знания*.
3. Категориально-функторный анализ и его применения.