Лекция 6

Продукционная модель

Продукционная модель

- Продукционная модель в силу своей простоты получила наиболее широкое распространение. В этой модели знания представляются в виде совокупности правил типа «ЕСЛИ - ТО».
- Впервые идея появилась в работе Эмиля Поста (Emil Leon Post), 1943.
- Продукционная система эквивалентна машине Тьюринга.
- Любое продукционное правило, содержащееся в БЗ, состоит из двух частей: антецедента и консеквента.

Продукционная модель

Антецедент представляет собой посылку правила (условную часть) и состоит из элементарных предложений, соединенных логическими связками И, ИЛИ.

Консеквент (заключение) включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определенное действие, подлежащее исполнению.

АНТЕЦЕДЕНТ → КОНСЕКВЕНТ

Продукционная модель

Примеры Продукционных правил:

ЕСЛИ «двигатель не заводится» И «стартер двигателя не работает», ТО «неполадки в системе электропитания стартера»;

ЕСЛИ «животное имеет перья», ТО «животное - птица».

Антецеденты и консеквенты правил формируются из атрибутов и значений, например:

Атрибут	*Значение*
Двигатель	Не заводится
Стартер двигателя	Не работает
Животное	Имеет перья
Животное	Птица

Продукционная модель

Более широкие возможности имеет способ описания с помощью триплетов *объект—атрибут- значение.* В этом случае отдельная сущность предметной области рассматривается как объект, а данные, хранящиеся в рабочей памяти, показывают значения, которые принимают атрибуты этого объекта.

- Примеры триплетов:
- собака — кличка — Граф;
- собака — порода - ризеншнауцер;
- собака - окрас — черный.

Продукционная модель

Одним из преимуществ такого представления знаний является уточнение контекста, в котором применяются правила. Например, правило, относящееся к объекту «собака», должно быть применимо для собак с любыми кличками, всех пород и окрасок. С введением триплетов правила из базы правил могут срабатывать более одного раза в процессе одного логического вывода, поскольку одно правило может применяться к различным экземплярам объекта (но не более одного раза к каждому экземпляру).

Продукционная модель

В рабочей памяти продукционной системы хранятся пары атрибут - значение, истинность которых установлена в процессе решения конкретной задачи к некоторому текущему моменту времени. Содержимое рабочей памяти изменяется в процессе решения задачи. Это происходит по мере срабатывания правил.

Продукционная модель

Правило *срабатывает,* если при сопоставлении фактов, содержащихся в рабочей памяти, с антецедентом анализируемого правила имеет место совпадение, при этом заключение сработавшего правила заносится в рабочую память. Поэтому в процессе логического вывода объем фактов в рабочей памяти, как правило, увеличивается (уменьшаться он может в том случае, если действие какого-нибудь правила состоит в удалении фактов из рабочей памяти). В процессе логического вывода каждое правило из базы правил может сработать только один раз.

Продукционная модель

Прямой порядок — от фактов к заключениям. В экспертных системах с прямыми выводами по известным фактам отыскивается заключение, которое из этих фактов следует. Если такое заключение удается найти, оно заносится в рабочую память.

Прямой порядок применяется в задачах, где на основании имеющихся фактов необходимо определить тип (класс) объекта или явления, выдать рекомендацию, определить диагноз и т.п.

- Все или большинство данных заданы в пространстве задачи.

Продукционная модель

- Существует большое количество потенциальных целей, но всего лишь несколько способов представления и применения исходных фактов.
- Сформировать цель или гипотезы очень трудно в силу избыточности исходных данных или большого числа конкурирующих гипотез.

Продукционная модель

Обратный порядок вывода — от заключений к фактам. В системах с обратным выводом вначале выдвигается некоторая гипотеза о конечном суждении, а затем механизм вывода пытается найти в рабочей памяти факты, которые могли бы подтвердить или опровергнуть выдвинутую гипотезу. Процесс отыскания необходимых фактов может включать достаточно большое число шагов, при этом возможно выдвижение новых гипотез (целей).

Продукционная модель

Механизм вывода включает компоненту вывода и управляющую компоненту.

Компонента вывода. Ее действие основано на применении правила логического вывода. Суть состоит в следующем. Если в РП присутствует истинный факт *А* и в БП существует правило вида «ЕСЛИ *А,* ТО *В»,* то факт *В* признается истинным и заносится в РП. Такой вывод легко реализуется на ЭВМ, однако при этом часто возникают проблемы, связанные с распознаванием значений слов, а также с тем, что факты могут иметь внутреннюю структуру и между элементами этой структуры возможны различного рода связи.

Продукционная модель

Например, пусть имеется факт

A — «Автомобиль Иванова — белый»

и правило «ЕСЛИ Автомобиль — белый, ТО Автомобиль легко заметить ночью».

Человек легко выведет заключение «Автомобиль Иванова легко заметить ночью», но это не под силу ЭС чисто продукционного типа. Она не сможет сформировать такое заключение, потому что *A* не совпадает точно с антецедентом правила.

Продукционная модель

Управляющая компонента.

Она определяет порядок применения правил, а также устанавливает, имеются ли еще факты, которые могут быть изменены в случае продолжения работы. Механизм вывода работает циклически, при этом в одном цикле может сработать только одно правило.

Продукционная модель

В цикле выполняются следующие основные операции:

- сопоставление — образец (антецедент) правила сравнивается с имеющимися в РП фактами;
- разрешение конфликтного набора — выбор одного из нескольких правил в том случае, если их можно применить одновременно;

Продукционная модель

- срабатывание правила — в случае совпадения образца некоторого правила из базы правил с фактами, имеющимися в рабочей памяти, происходит срабатывание правила, при этом оно отмечается в БП;
- действие — изменение содержимого РП путем добавления туда заключения сработавшего правила. Если в заключении содержится директива на выполнение некоторой процедуры, последняя выполняется.

Стратегии разрешения конфликтов

Стратегии разрешения конфликтов отличаются в различных реализациях продукционной модели и могут быть достаточно простыми, например:

- *Рефракция* (refraction) для предотвращения зацикливания: после активизации правила оно не может быть использовано снова, пока не измениться содержимое рабочей памяти.

Стратегии разрешения конфликтов

- *Новизна* (recency) позволяет сосредоточить поиск на одной линии рассуждения: предпочтение отдается правилам, в условии которых встречаются факты, добавленные в рабочую память последними.
- *Специфичность* (specifity) отдает предпочтение более конкретным правилам перед более общими: одно правило более специфично (конкретно), чем другое, если оно содержит больше фактов в условной части.

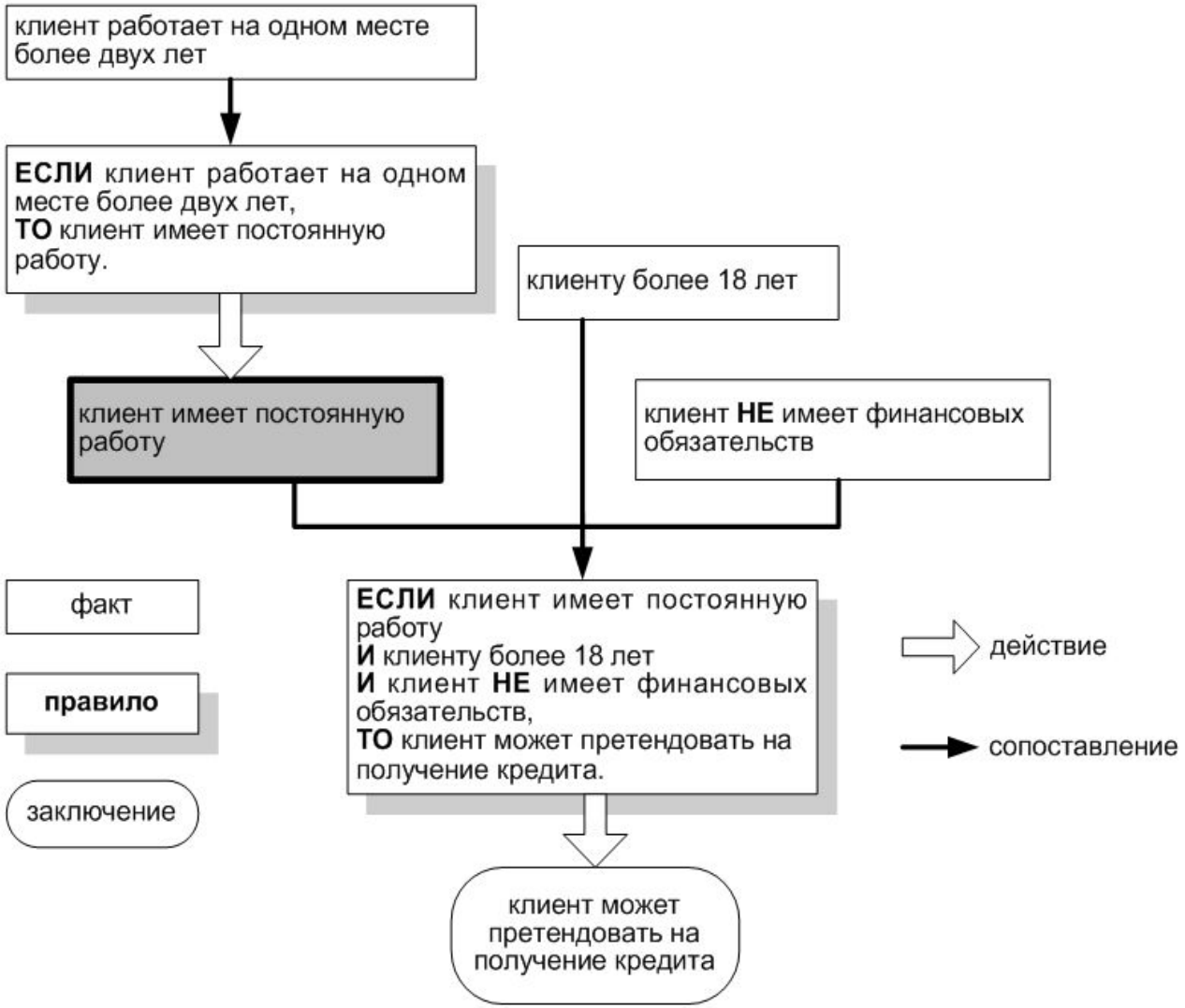
Примеры продукций

- ***ЕСЛИ*** клиент работает на одном месте более двух лет, ***ТО*** клиент имеет постоянную работу.

ЕСЛИ клиент имеет постоянную работу ***И*** клиенту более 18 лет ***И*** клиент ***НЕ*** имеет финансовых обязательств, ***ТО*** клиент может претендовать на получение кредита.

Цепочка вывода (reasoning)

Эта цепочка показывает, как на основании правил и исходных фактов выводит заключение о возможности получения кредита.



Разновидности цепочек вывода

- *Монотонным выводом* в продукционных системах называют вывод, при котором факты не удаляются из рабочей памяти.

Немонотонный вывод допускает удаление фактов из рабочей памяти. При немонотонном выводе существенную роль играет порядок применения продукционных правил.

Направления вывода

- *Вывод на основе данных* (data–driven search), процесс решения задачи начинается с исходных фактов. Затем применяя допустимые правила, осуществляется переход к новым фактам. И так до тех пор, пока цель не будет достигнута. Это процесс также называют *прямой цепочкой вывода* (forward chaining).

Направления вывода

- *Вывод от цели* (goal–directed strategy) начинается от одной из допустимых целей, и рассматриваются пути, ведущие к достижению этой цели. Таким образом, определяется последовательность правил, позволяющих найти решение. Процесс повторяется для всех заданных в задаче целей. Такой способ поиска называют также *обратной цепочкой вывода* (backward chaining).

Продукционная модель

Пример прямого вывода.

Пусть в БП имеются следующие правила:

- Правило 1. «ЕСЛИ Двигатель не заводится И Фары не горят, ТО Сел аккумулятор».
- Правило 2. «ЕСЛИ Указатель бензина находится на нуле, ТО Двигатель не заводится».

Факты:

“Фары не горят и Указатель бензина находится на нуле”.

Продукционная модель

Основные шаги алгоритма прямого вывода:

1. Сопоставление фактов из РП с образцами правил из БП. Правило 1 не может сработать, а Правило 2 срабатывает, так как образец, совпадающий с его антецедентом, присутствует в РП.
2. Действие сработавшего Правила 2. В РП заносится заключение этого правила — образец *“Двигатель не заводится”.*

Продукционная модель

3. Второй цикл сопоставления фактов в РП с образцами правил. Теперь срабатывает Правило 1, так как конъюнкция условий в его антецеденте становится истинной.
4. Действие Правила 1, которое заключается в выдаче пользователю окончательного диагноза — *Сел аккумулятор.*
5. Конец работы (БП исчерпана).

Пример прямого вывода (база знаний)

Пример миниатюрной экспертной системы для фондовой биржи. БЗ включает, следующие продукционные правила:

- **ЕСЛИ** *Процентные ставки падают*, **ТО** *Уровень цен на бирже растет*.
- **ЕСЛИ** *Процентные ставки растут*, **ТО** *Уровень цен на бирже падает*.

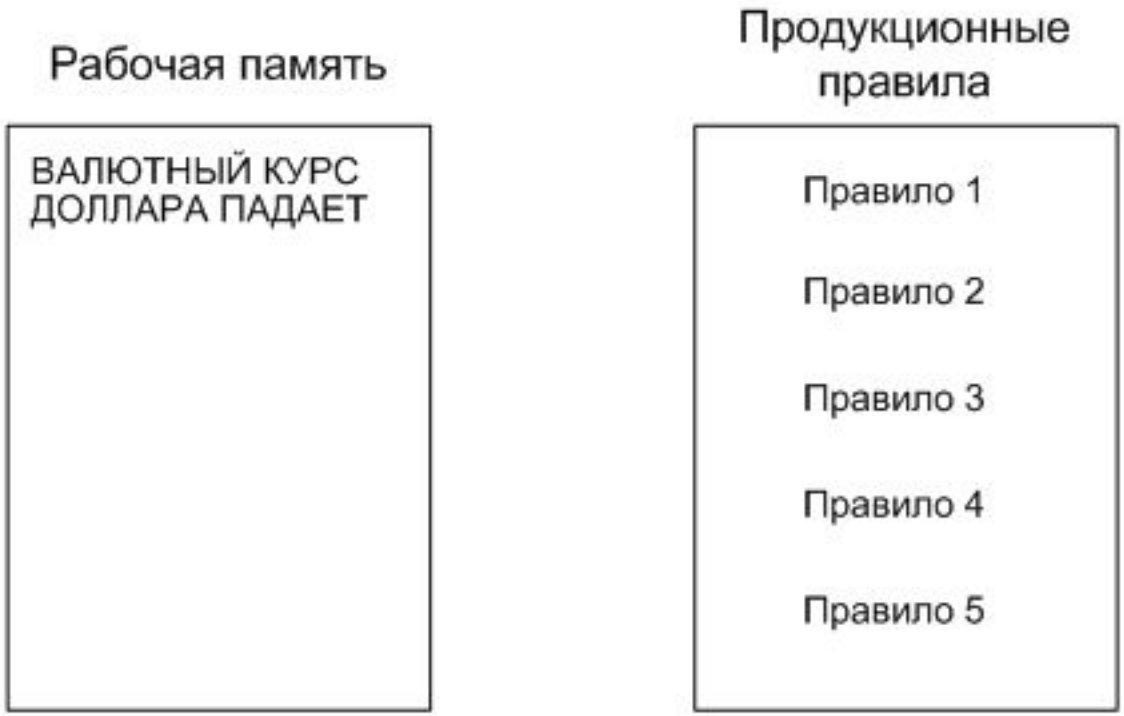
Пример прямого вывода (база знаний)

- **ЕСЛИ** *Валютный курс доллара падает*, **ТО** *Процентные ставки растут*.
- **ЕСЛИ** *Валютный курс доллара растет*, **ТО** *Процентные ставки падают*.
- **ЕСЛИ** *Процентные ставки федерального резерва падают* **И** *Средства федерального резерва добавлены*, **ТО** *Процентные ставки падают*.

Пример прямого вывода (начальное состояние)

На основании запроса пользователя инициализируется исходное состояние рабочей памяти путем добавления в нее факта:

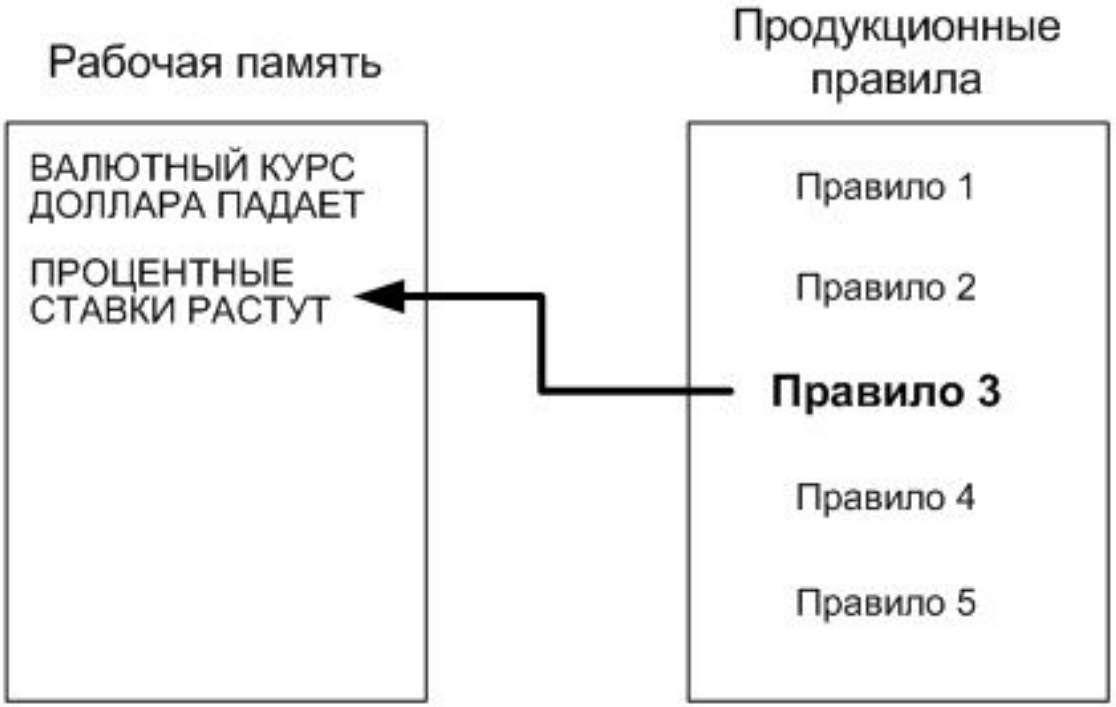
- *Валютный курс доллара падает*:



Пример прямого вывода (первый шаг вывода)

После активации правила 3, и в рабочую память добавится новый факт:

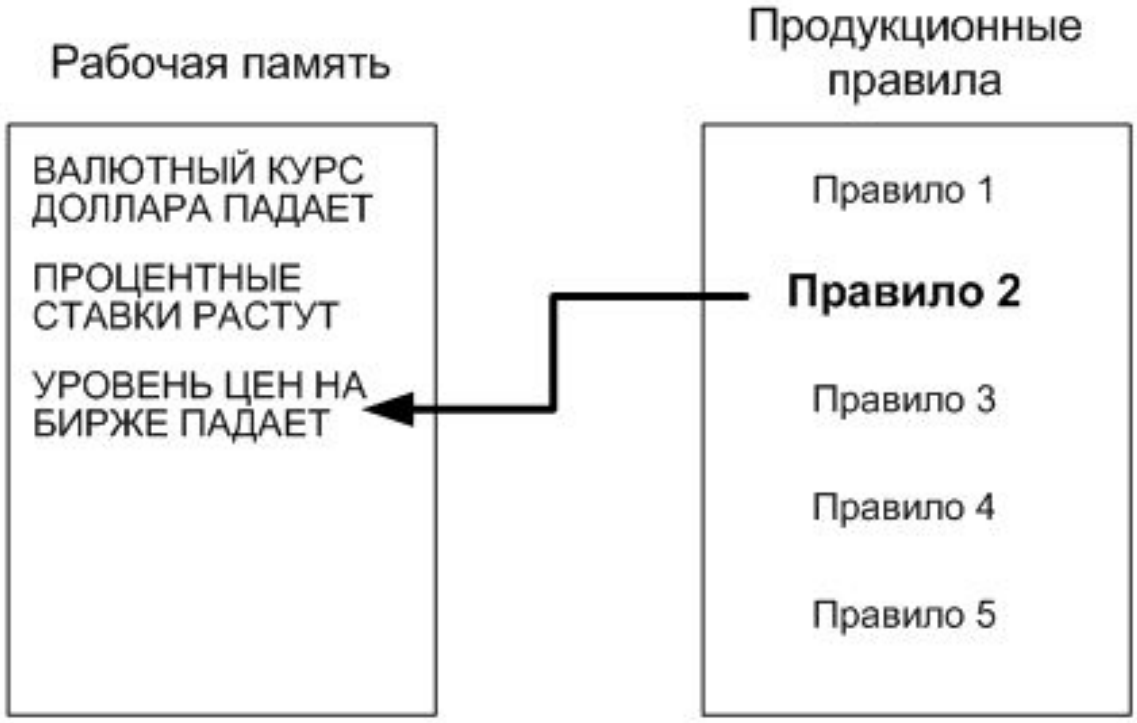
- *Процентные ставки растут*:



Пример прямого вывода (второй шаг вывода)

После активации правила 2, и в рабочую память добавится новый факт:

- *Уровень цен на бирже падает*:



Продукционная модель

Пример прямого вывода с конфликтным набором.

Пусть в БП имеются следующие правила:

- Правило 1. «ЕСЛИ Двигатель не заводится И Фары не горят, ТО Сел аккумулятор».
- Правило 2. «ЕСЛИ Указатель бензина находится на нуле, ТО Двигатель не заводится».
- Правило 3: «ЕСЛИ *Указатель бензина находится на нуле,* ТО *Нет бензина.*

Факты:

Фары не горят и Указатель бензина находится на нуле

Продукционная модель

1. Сопоставление фактов из РП с образцами правил из БП. Возможно применение двух правил — Правила 2 и Правила 3, т.е. возникает конфликтный набор и встает задача выбора: какое из этих правил применить первым.

Продукционная модель

2. Выбираем Правило 2, в РП добавится факт “Двигатель *не заводится”* и на следующем шаге опять возникнет конфликтный набор, так как можно будет применить Правило 1 и Правило 3.
3. Если будет выбрано Правило 1, то к заключению *Сел аккумулятор* придем за два шага. При любом другом выборе порядка применения правил к этому же заключению приходим за три шага

Обратная цепочка рассуждений

Обратная цепочка рассуждений применяется в задачах, соответствующих процессу проверки гипотез при решении проблем человеком — для заданной ситуации необходимо определить условия к ней приводящие.

- Цель поиска явно присутствует в постановке задачи или может быть легко сформулирована.

Обратная цепочка рассуждений

- Имеется слишком большое число правил, которые на основе исходных фактов продуцируют возрастающее число заключений или целей. Своевременный отбор целей позволяет отсеять множество тупиковых ветвей, что сокращает пространство поиска.
- Исходные данные не приводятся в задаче, но подразумевается, что они должны быть известны или могут быть легко получены.

Продукционная модель

Пример обратного вывода.

Предположим, что в БП имеется два правила (Правило 1 и Правило 2), а в РП — те же факты, что в предыдущих примерах с прямым выводом.

Алгоритм обратного вывода содержит следующие шаги.

1. Выдвигается гипотеза окончательного диагноза — *Сел аккумулятор.*
2. Отыскивается правило, заключение которого соответствует выдвинутой гипотезе, в нашем примере — это Правило 1.

Продукционная модель

3. Исследуется возможность применения Правила 1, т.е. решается вопрос о том, может ли оно сработать. Для этого в рабочей памяти должны присутствовать факты, совпадающие с образцом этого правила. В рассматриваемом примере Правило 1 не может сработать из-за отсутствия в РП образца Двигатель *не заводится.* Этот факт становится новой целью на следующем шаге вывода.
4. Поиск правила, заключение которого соответствует новой цели. Такое правило есть - Правило 2.
5. Исследуется возможность применения Правила 2 (сопоставление). Оно срабатывает, так как в РП присутствует факт, совпадающий с его образцом.

Продукционная модель

6. Действие Правила 2, состоящее в занесении заключения *Двигатель не заводится* в РП.
7. Условная часть Правила 1 теперь подтверждена фактами, следовательно, оно срабатывает, и выдвинутая начальная гипотеза подтверждается.
8. Конец работы.

Продукционная модель

Пример обратного вывода с конфликтным набором. Предположим, что в БП записаны Правило 1, Правило 2, Правило 3 и Правило 4:

- «ЕСЛИ *Засорился бензонасос, ТО Двигатель не заводится».*

В РП присутствуют те же самые факты: *Фары не горят* и *Указатель бензина находится на нуле.*

Продукционная модель

- Выдвигается гипотеза Сел аккумулятор.
- Поиск правила, заключение которого совпадает с поставленной целью. Это Правило 1.
- Исследуется возможность применения Правила 1. Оно не может сработать, выдвигается новая подцель “Двигатель не заводится”, соответствующая недостающему образцу.

Продукционная модель

- Поиск правил, заключения которых совпадают с новой подцелью. Таких правил два - Правило 2 и Правило 4. Если выберем Правило 2, то дальнейшие шаги совпадают с примером без конфликтного набора. Если выберем Правило 4, то оно не сработает, так как в РП нет образца Засорился бензонасос. После этого будет применено Правило 2, что приведет к успеху, но путь окажется длиннее на один шаг.

Продукционная модель

Следует обратить внимание на то, что Правило 3, не связанное с поставленной целью, вообще не затрагивалось в процессе вывода. Этот факт свидетельствует о более высокой эффективности обратных выводов по сравнению с прямыми, так как при обратных выводах существует тенденция исключения из рассмотрения правил, не имеющих отношения к поставленной цели.

Продукционная модель

Продукционные модели часто используются при построении ЭС. Эта модель удобна тем, что язык представления БД может выбираться произвольно в зависимости от задачи (в предикатных языках БД представляется в виде набора предикатов).

Преимущества продукционных моделей

- ***Модульность***
- ***Модифицируемость***
- ***Доступность чтения***
- ***Способность к самообъяснению***
- ***Универсальность***
- ***Эффективность организации памяти***

Модуль

Удаление, изменение, добавление любой продукции может выполняться независимо от всех остальных продукций (не приводит к изменениям в остальных продукциях). Знания вводятся неупорядоченно как в словаре или энциклопедии. Практика показывает, что это естественный способ пополнения своих знаний для эксперта.

Модифи

Если добавляется или модифицируется какое-либо правило, то все, что было сделано ранее, остается в силе и к новому правилу не относится. Каждое изменение обладает свойством аддитивности и локальности.

Доступ

Подавляющая часть человеческих знаний может быть записана в виде продукций. Человеческие знания являются модульными и поэтому продукционные системы более близки для их представления и легки для чтения.

Универ

Системы продукций при необходимости могут реализовать любые алгоритмы и способны отражать любое процедурное знание, доступное ЭВМ.

Способность к самооб

Это свойство связано и с правилами и с их структурами внешнего управления. Система легко прослеживает цепочку правил, которую она использовала для получения вывода.

Эффек

1) **Наличие в продукциях указателей на сферу применения продукции позволяет эффективно организовать память, сократив время поиска в ней необходимой информации. Классификация сфер может быть многоуровневой, что еще более повышает эффективность поиска знаний.**
2) **При объединении систем продукций и сетевых представлений получаются средства, обладающие большой вычислительной мощностью.**
3) **Параллелизм в системе продукций, асинхронность их реализации делают продукционные системы удобной моделью вычислений для ЭВМ новой архитектуры, в которой идея асинхронности и параллельности является центральной.**

Недостатки продукционной системы:

При большом числе продукций становится сложной проверка непротиворечивости системы продукций.

Из-за присущей системе недетерминированности (неоднозначного выбора выполняемой продукции из фронта активизированных продукций) возникают принципиальные трудности при проверке корректности работы системы

Наблюдение из практики: если число продукций > 1000, то мало шансов, что система продукций во всех случаях будет правильно функционировать.

Пример. «Игра в восемь» (упрощенные пятнашки).

Задача. Дана доска, на которой девять клеток, по которым перемещается восемь фишек. Их следует расположить по порядку (см. рисунки 1 и 2).

2		3
1	6	4
8	7	5

1	2	3
8		4
7	6	5

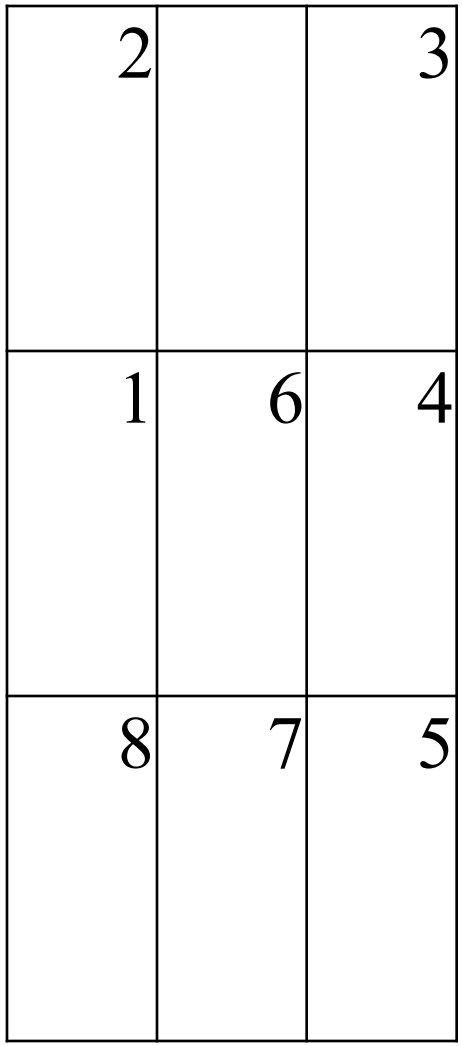
Сформулируем правила. Условно считаем, что мы как бы перемещаем не фишки, а пустую клетку (дырку).

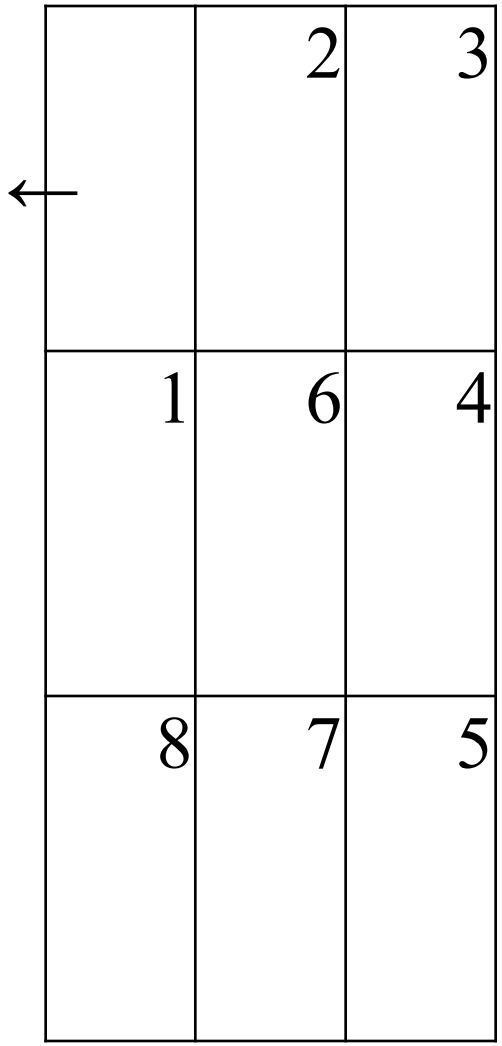
A) Если дырка не в верхнем ряду, переместить ее вверх.

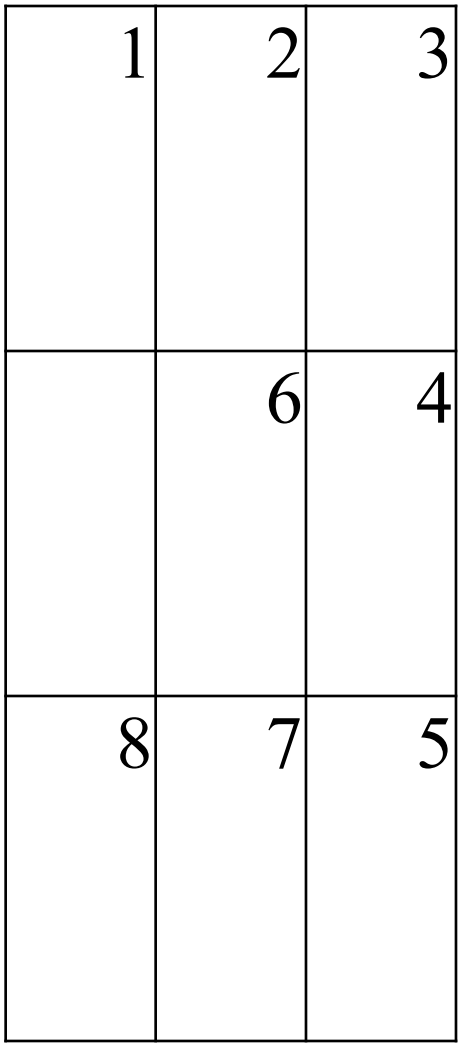
B) Если дырка не а правом столбце, переместить ее вправо.

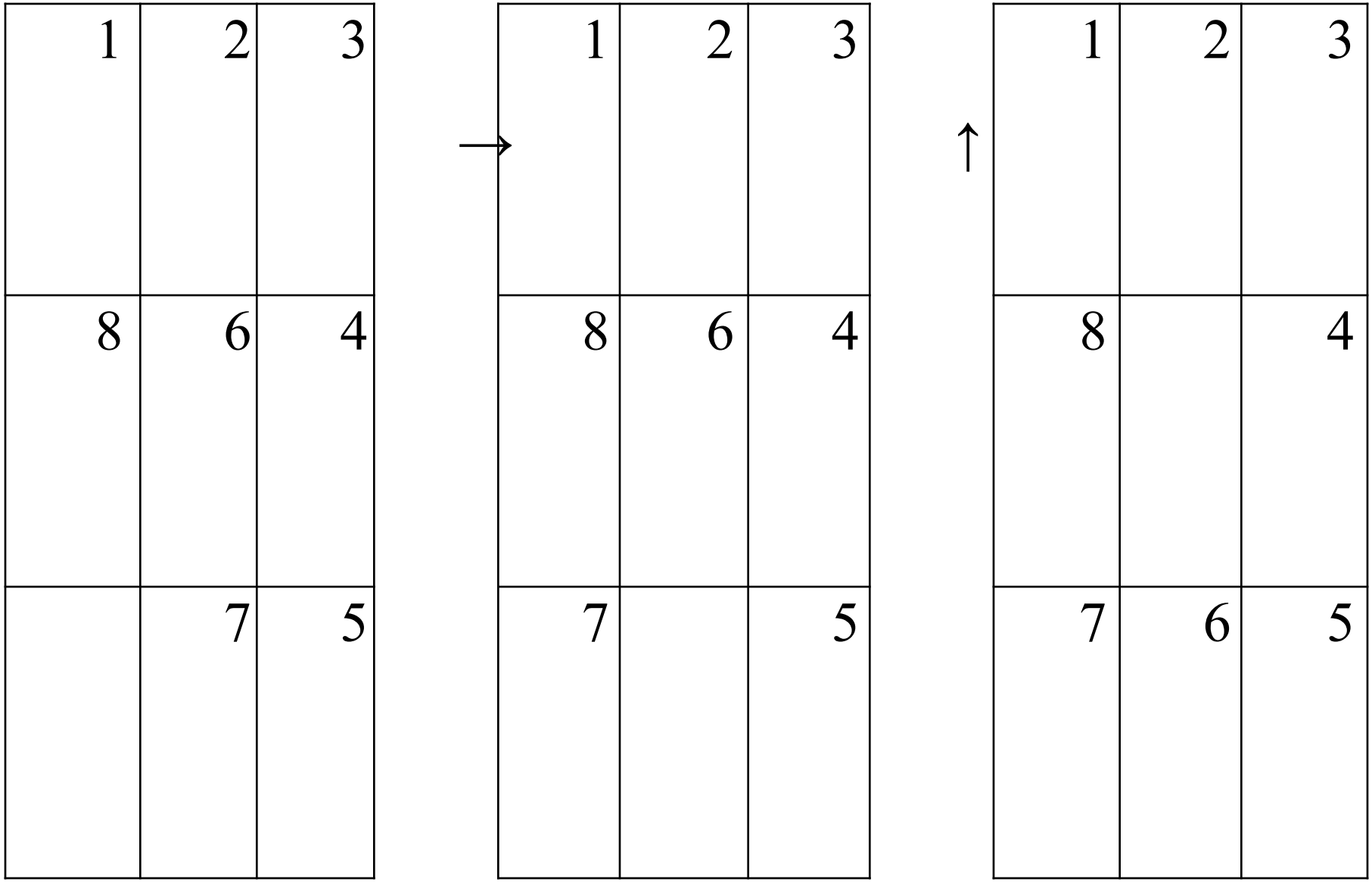
C) Если дырка не в левом столбце, переместить ее влево.

D) Если дырка не в нижнем ряду, переместить ее вниз.


2 3
1 6 4
8 7 5


2 3
1 6 4
8 7 5


1 2 3
6 4
8 7 5


1 2 3
8 6 4
7 5
1 2 3
8 6 4
7 5
1 2 3
8 4
7 6 5

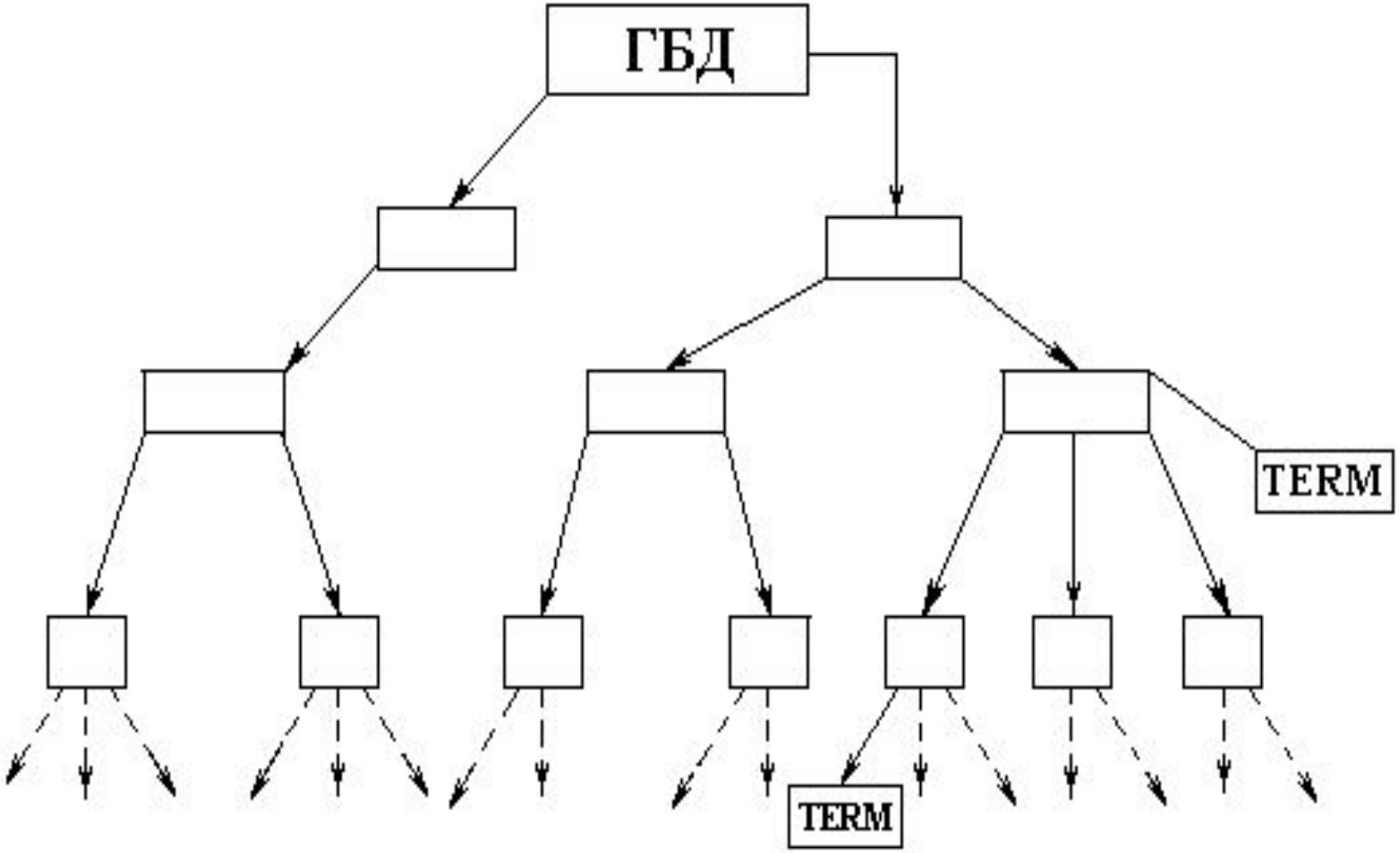
Продукционная модель

Экспертной системой (ЭС) называется система, которая позволяет пользователю описать проблемную ситуацию и получить ее решение, сопровождаемое объяснениями, почему выбрано именно это решение.

Основные компоненты ЭС.

- ГБД – глобальная база данных (содержит исходную информацию, необходимую для решения проблемной ситуации).
- БЗ – база знаний, суть набор операции преобразования ГБД (с помощью последовательности этих операций мы и получаем ответ, причем сама последовательность правил составляет определяет обоснование).
- Стратегия выбора следующей операции.
- Терминальное состояние ГБД (содержит ответ на вопрос).

Продукционная модель



Продукционная модель

Неотъемлемой частью ЭС, построенных на продукциях являются стратегии управления, которые определяют порядок применения продукционных правил. Выделяют два класса стратегий.

- А) Безвозвратные стратегии. В этом случае существует критерий выбора очередного правила, после применения правила возврат к исходном состоянию (отмена применения правила) не производится никогда.
- В) Пробные стратегии, которые, в свою очередь, делятся на два класса – поиск с возвратом (backtracking) и поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Продукционная модель

Поиск с возвратом.

В начальный момент находимся в начальном состоянии ГБД. Применяем какое-нибудь правило (выбираем его по определенному критерию). В случае если приходим в тупик (не можем больше применить ни одно правило) возвращаемся на шаг назад. И так действуем до тех пор, пока не достигнем терминального состояния ГБД. В случае если произведен полный перебор вариантов, а терминальное состояние не достигнуто, значит задача неразрешима).

Продукционная модель

Классическим примером использования алгоритма поиска с возвратом является задача о восьми ферзях. Её формулировка такова: «Расставить на стандартной 64-клеточной шахматной доске 8 ферзей так, чтобы ни один из них не находился под боем другого». Сперва на доску ставят одного ферзя, а потом пытаются поставить каждого следующего ферзя так, чтобы его не били уже установленные ферзи. Если на очередном шаге такую установку сделать нельзя — возвращаются на шаг назад и пытаются поставить ранее установленного ферзя на другое место.

Продукционная модель

- Общее число возможных расположений 8 ферзей на 64-клеточной доске равно 4426165368. Общее число возможных расположений, удовлетворяющих условию задачи равно 92. В принципе, современные компьютеры уже позволяют произвести решение задачи (нахождение любого или всех решений) путём прямого перебора всех возможных вариантов расстановки, но обычно такое решение считается некорректным, и от решающего задачу требуется найти алгоритм, который позволял бы существенно сократить объём перебора.

Продукционная модель

- Например, очевидно, что на одной горизонтали или вертикали доски не может находиться больше одного ферзя, поэтому алгоритм решения изначально не должен включать в перебор позиции, где два ферзя стоят на одной горизонтали или вертикали. Даже такое простое правило способно существенно уменьшить число возможных расположений: 16777216 (то есть 88) вместо 4426165368. Генерируя перестановки, которые являются решениями задачи о восьми ладьях и затем проверяя атаки по диагоналям, можно сократить число возможных расположений всего до 40320 (то есть 8!).

Продукционная модель

- Один из типовых алгоритмов решения задачи — использование поиска с возвратом: первый ферзь ставится на первую горизонталь, затем каждый следующий пытаются поставить на следующую так, чтобы его не били ранее установленные ферзи. Если на очередном этапе постановки свободных полей не оказывается, происходит возврат на шаг назад — переставляется ранее установленный ферзь.

Продукционная модель

- Но если решать более общую задачу об N ферзях, то такой перебор вариантов даже с использованием описанных выше сокращений будет весьма долго работать уже при N = 20, так как 20! = 2.433×1018. Поэтому представляет особенный интерес следующий эвристический алгоритм, решающий задачу об N ферзях на поле размером N x N. Он работает для всех $N \geq 4$ или $N = 1$:

Продукционная модель

- Разделить *N* на 12 и запомнить остаток (*N* будет равно 8 для задачи о восьми ферзях).
- Занести в список все четные числа от 2 до *N* по порядку.
- Если остаток равен 3 или 9, перенести 2 в конец списка.

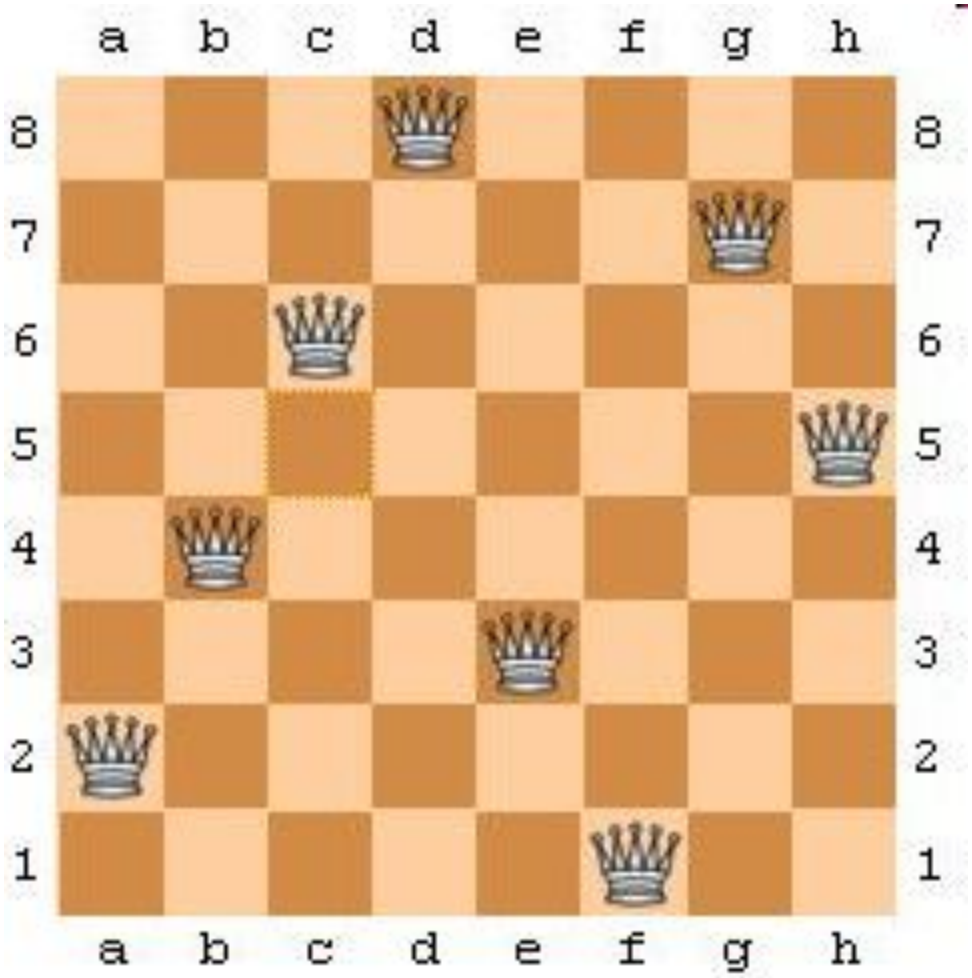
Продукционная модель

- Добавить в список все нечетные числа от 1 до *N* по порядку, но, если остаток равен 8, перевернуть пары соседних чисел (например: 3, 1, 7, 5, 11, 9, …).
- Если остаток равен 2 и $N \geq 3$, поменять местами 1 и 3, затем, если $N \geq 5$, перенести 5 в конец списка.

Продукционная модель

- Если остаток равен 3 или 9, переместить 1 и 3 (именно в этом порядке, а не в котором они сейчас) в конец списка.
- Разместить ферзя в первом стоблце и в строке с номером, равным первому элементу списка, затем поместить следующего ферзя во втором столбце и в строке с номером, равным второму элементу списка, и т.д.
- Для $N = 8$ результат работы этого алгоритма показан на картинке.

Продукционная модель



Продукционная модель

Главный недостаток этого метода то, что возможно зацикливание. На практике эта проблема решается путем введения ограничения на глубину поиска, что, однако, в некоторых случаях может привести к ненахождению существующего решения.

Продукционная модель

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Пусть дан простой ориентированный граф G=(V,E), и пусть существует некоторая вершина S, не имеющая предков (в эту вершину не входит ни одна дуга). Эта вершина называется **начальным состоянием**. Все остальные вершины имеют хотя бы одного предка. Также существует Term – подмножество терминальных вершин (состояний). Такой граф называется или **пространством состояний** или **пространством решений**, его вершины называются **состояниями**, а его дуги – **правилами**.

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

- По существу, идея очень проста. Множество проблем можно сформулировать в терминах трех важнейших ингредиентов:
- исходное состояние проблемы, например исходное состояние головоломки;
- тест завершения — проверка, достигнуто ли требуемое конечное состояние или найдено решение проблемы (примером может послужить правило определения, собрана ли головоломка);
- множество операций, которые можно использовать для изменения текущего состояния проблемы, например шаги или перемещения фигур при сборке головоломки.

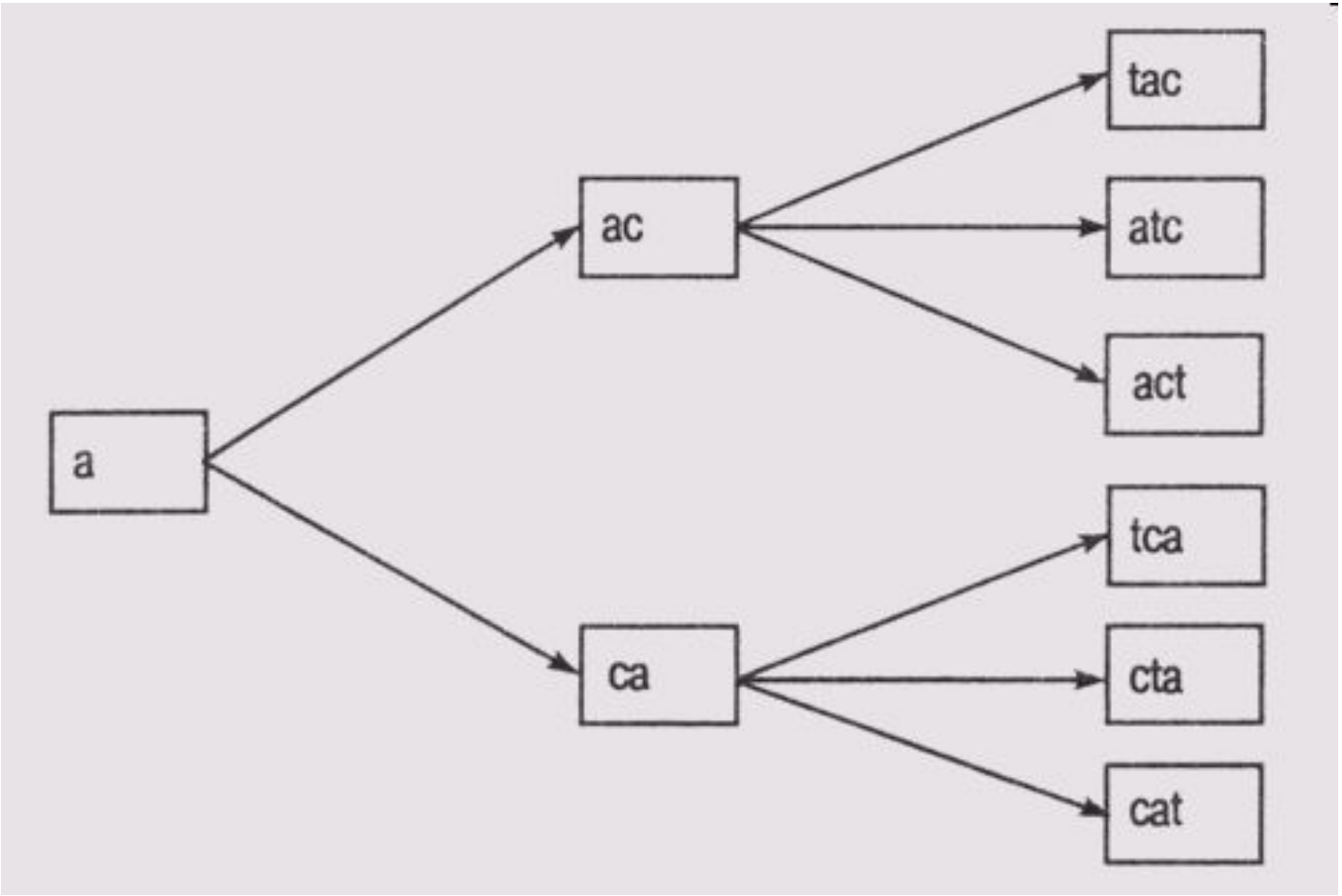
Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

- Один из способов представления такого концептуального пространства состояний — граф, в котором состояниям соответствуют узлы, а операциям — дуги. Рассмотрим в качестве примера задачу построения слова из некоторого множества букв, как в игре Scrabble. Задавшись набором операций установки букв, можно сформировать пространство состояний.

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

- Предположим, что множество доступных букв включает T, C и A. На каждом уровне графа мы будем добавлять по одной определенной букве. Каждая ветвь, исходящая из узла, соответствует установке буквы в *определенную* позицию в последовательности, а эта последовательность должна образовать осмысленное слово (рис. 2.1). Если это произошло, то головоломка считается собранной (например, если образовалась комбинация "act" или "cat").

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).



Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Это пространство состояний обладает двумя интересными свойствами, которые присущи далеко не всем пространствам состояний:

-оно конечно, поскольку существует только *n!* способов расставить *n* букв;

-оно не содержит повторяющихся узлов, что может привести к образованию петель на графе.

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Метод формирования анаграмм последовательным перечислением является примером применения алгоритма, получившего наименование *generate-and-test* (порождение и проверка).

(1) *Генерировать* новое состояние, модифицируя существующее; например, изменить последовательность букв, добавив новую в существующую последовательность.

(2) *Проверить,* не является ли образовавшееся состояние конечным (решением); например, проверить, не является ли образовавшаяся последовательность осмысленным словом. Если это так, то завершить, иначе перейти к шагу (1).

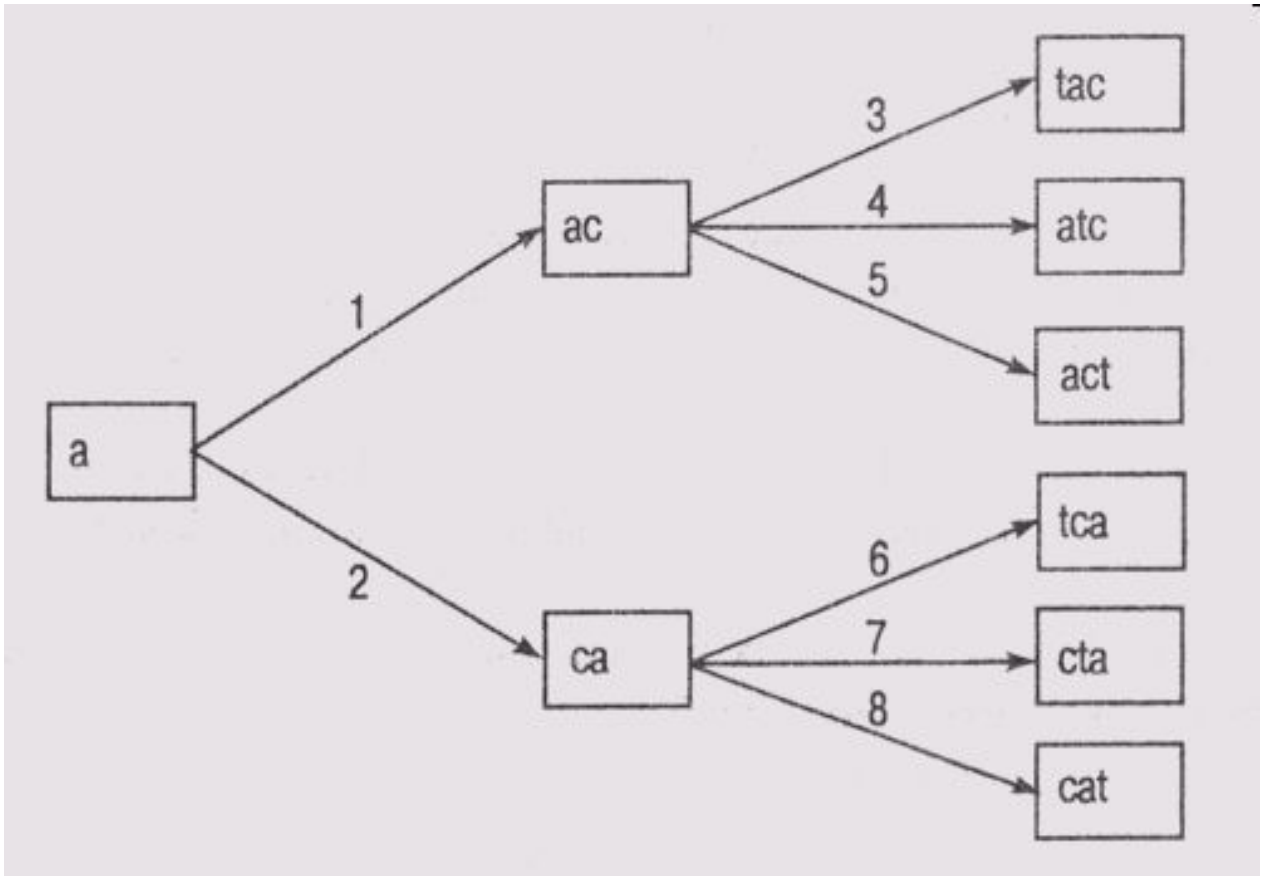
Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Множество решений, которые удовлетворяют условию на шаге (2), иногда называют *пространством решений.* Алгоритм имеет два основных варианта: *поиск в глубину (depth-first search)* и *поиск в ширину (breadth-first search).* Отличаются варианты порядком формирования состояний на шаге (1).

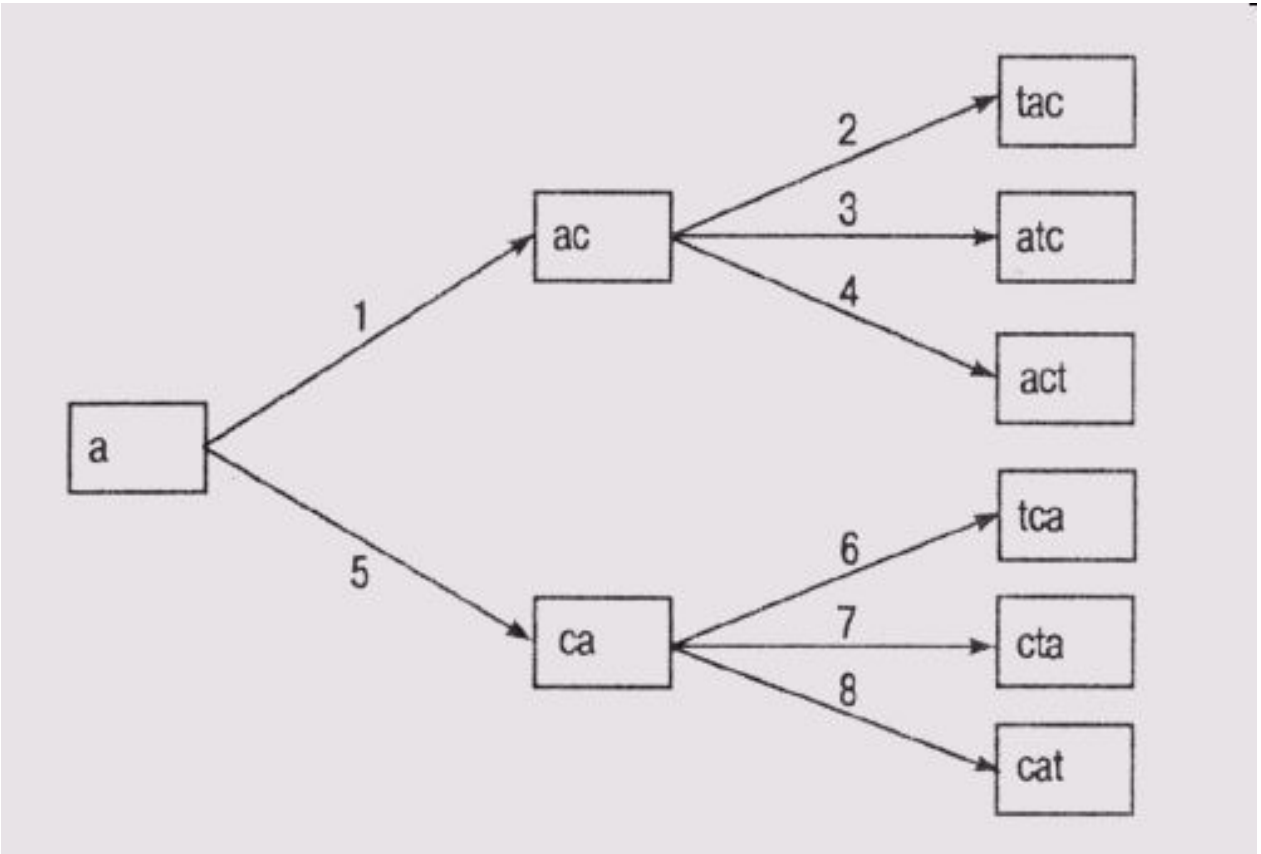
Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

Для любого данного узла *N* алгоритм поиска в глубину строит потомок этого узла, т.е. формирует состояние, которое образуется в результате применения операторов к узлу *N,* а потом переходит к формированию узла, ближайшего к *N,* на том же уровне графа ("соседу" *N),* т.е. формирует состояние, которое образуется в результате применения оператора к узлу-родителю *N.* Алгоритм поиска в ширину действует наоборот — сначала формируются все "соседи" узла *N,* а потом уже строятся его потомки.

Алгоритм поиска в ширину



Алгоритм поиска в глубину



Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

- Оба алгоритма завершат работу (найдут конечное состояние) после формирования узла "act", а не "cat". Но алгоритму поиска в ширину придется для этого "посетить" пять узлов (сформировать и проанализировать пять состояний), а алгоритму поиска в глубину — четыре.
  Отметим, что свойства этих алгоритмов существенно отличаются.

Поиск в пространстве состояний (или поиск на графах).

- Алгоритм поиска в ширину отыскивает решение, путь к которому на графе — кратчайший, если таковое существует. Другими словами, он находит кратчайший путь между исходным состоянием и решением. Алгоритмы, обладающие таким свойством, называются *разрешимыми (admissible).*
- Алгоритм поиска в глубину может быстрее найти решение, особенно, если при его выполнении используются эвристики для выбора очередной ветви. Но этот алгоритм может никогда не закончиться, если пространство состояний бесконечно.

Продукционная модель

Пример. Формализация задачи о волке, козе и капусте. Есть река и лодка, в которую входит лодочник и еще один предмет. Козу и волка, а также козу и капусту нельзя оставлять вместе без присмотра. Задача – перевезти все с левого берега на правый.

- Представление ГБД. (x-волк,y-коза,z-капуста,s-лодочник).
- x,y,z,s = 0 - соответствующий предмет на левом берегу
- x,y,z,s =1 – соответствующий предмет на правом берегу

Таким образом, (0,0,0,0) – исходное состояние, а (1,1,1,1) – терминальное состояние.

Продукционная модель

Прежде чем сформулировать правила, необходимо отсеять недопустимые состояния. Таковыми являются состояния, предусматривающие одновременное нахождение волка и козы или козы и капусты на берегу, противоположном от лодочника. Допустимые правила должны обеспечивать отсутствие возможности перехода в недопустимые состояния.

Продукционная модель

Правило	Условие применимости
прямая перевозка волка – (0,y,z,0)->(1,y,z,1)	$\neg(y=0 \wedge z=0)$
прямая перевозка козы – (x,0,z,0)->(x,1,z,1)	всегда
прямая перевозка капусты – (x,y,0,0)->(x,y,1,1)	$\neg(x=0 \wedge y=0)$
прямая пустая перевозка	$\neg(y=0 \wedge z=0) \wedge \neg(x=0 \wedge y=0)$
обратная перевозка волка – (1,y,z,1)->(0,y,z,0)	$\neg(y=1 \wedge z=1)$
обратная перевозка козы – (x,1,z,1)->(x,0,z,0)	всегда
обратная перевозка капусты – (x,y,1,1)->(x,y,0,0)	$\neg(x=1 \wedge y=1)$
обратная пустая перевозка – (x,y,z,1)->(x,y,z,0)	$\neg(y=1 \wedge z=1) \wedge \neg(x=1 \wedge y=1)$

Продукционная модель

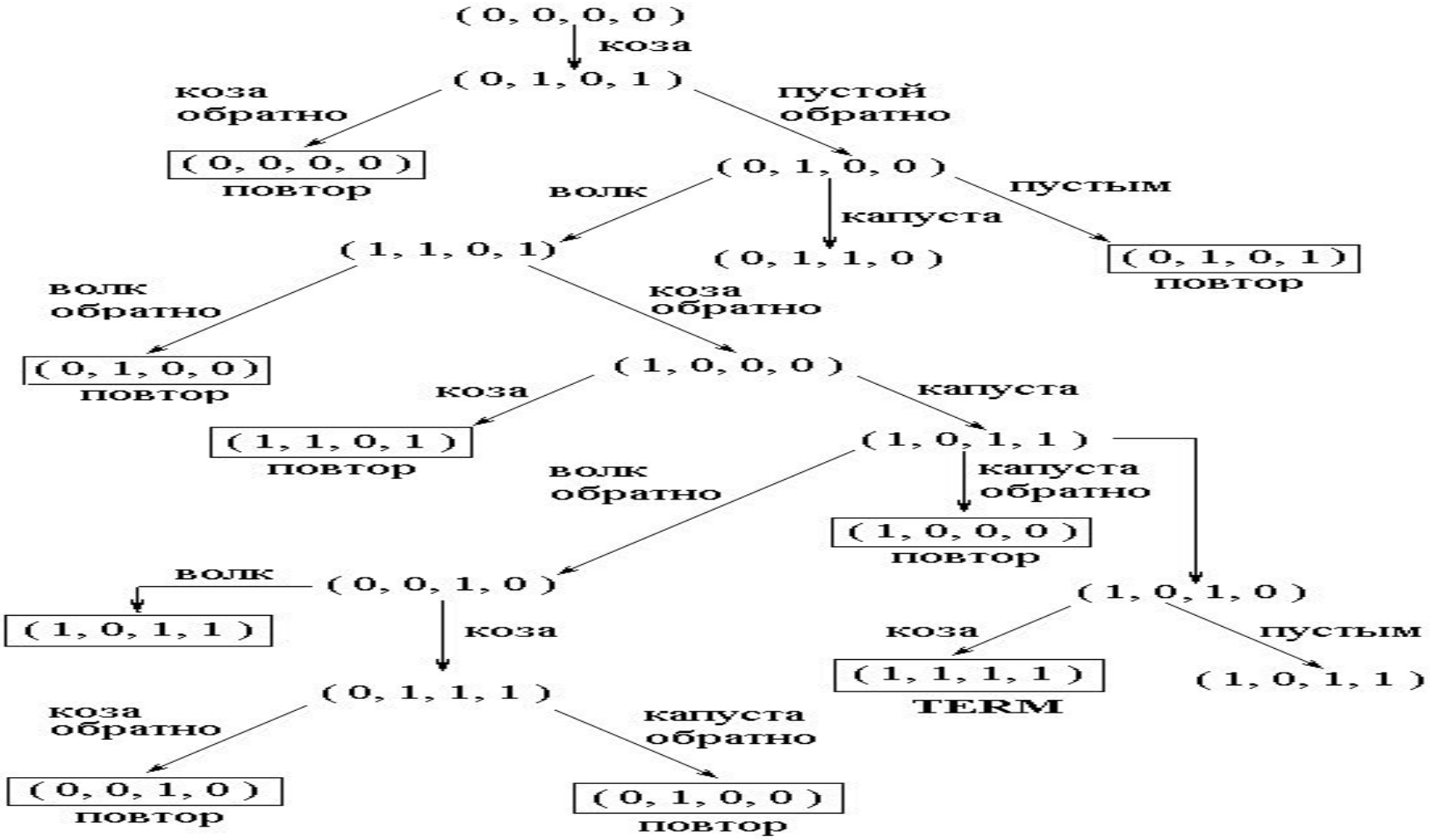
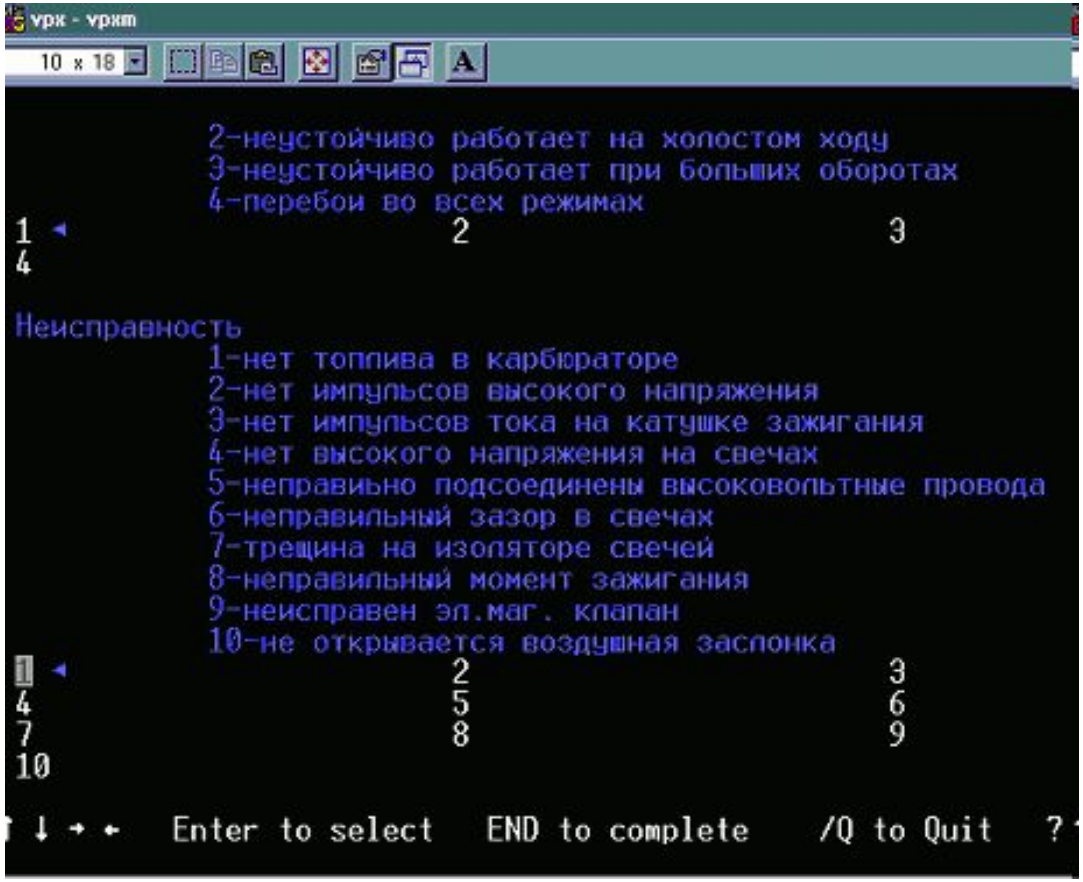


Рис. 3

Продукционная модель



Продукционная модель