

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине «Экспертные системы в машиностроении»
для студентов заочной формы обучения
направления подготовки
15.04.02 Технологические машины и оборудование

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Экспертные системы в машиностроении». Указания предназначены для студентов очно-заочной формы обучения направления подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

Составитель

А.Н. Петенёв, канд.техн.наук, доцент

Отв. редактор

А.М. Новоселов, канд.тех.наук, доцент

Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины «Экспертные системы в машиностроении» является формирование у обучающихся способности формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования; разрабатывать современные методы исследования технологических машин и оборудования, оценивать и представлять результаты выполненной работы; организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения.

Задачами освоения дисциплины:

- сформировать способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования;
- сформировать способность разрабатывать современные методы исследования технологических машин и оборудования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;
- сформировать способность организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения.

Содержание

Тема 1. Экспертная система в структуре системы мониторинга технологического процесса ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 «Таблицы решений, стратегии поиска».....	4
Тема 2. Построение и аппарат экспертных систем в машиностроении ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 «Разработка блок – схемы экспертной системы для принятия решения.....	10
Тема 3. Методика разработки экспертных систем для технологического объекта ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 «Прямой и обратный логический выводы».....	15
Тема 4. Математические основы построения экспертных систем в машиностроении ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 «Экспертное оценивание».....	20
Тема 5. Основные инструментальные средства разработки экспертных систем в машиностроении ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 «Байесовская стратегия логического вывода».....	24
Тема 6. Построение базы знаний экспертной системы для технологического объекта ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 «Нечеткие множества, нечеткие отношения и нечеткий вывод».....	31

Тема 1. Экспертная система в структуре системы мониторинга технологического процесса

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 «Таблицы решений, стратегии поиска»

Задание 1.

1. На основе исходных данных, создать для ЭС «Стоимость ремонта квартиры», таблицу множества возможных решений в соответствии с предложенным вариантом задания (вар.-).

2. Сформировать набор правил в соответствии с заданием.

3. Разработать текст совета.

Варианты задания

Вариант	Таблица 1	Таблица 2	Таблица 3	Таблица 4
1	1	2,4	1-3	Вся
2	2	3,4	2-4	Вся
3	3	3,5	2-4	Вся
4	2	1-3	1-3	Вся
5	3	3-5	2-4	Вся
6	3	3-4	2,3	Вся
7	2	1-3	2-4	Вся

Таблицы исходных данных для задания

Таблица 1 **Допустимые затраты на ремонт**

№	Уровень доходов	Сумма, выделяемая на ремонт
1	Низкий	До 1500 руб.
2	Средний	До 10000 руб.
3	Высокий	До 20000 руб.

Таблица 2 **Стоимость материалов для косметического ремонта**

№	Объект ремонта	Стоимость материалов
1	Сантехника	До 50 руб.
2	Ванная комната	До 100 руб.
3	Жилая комната	До 150 руб.
4	Кухня	До 300 руб.
5	Квартира в целом	До 600 руб.

Таблица 3 **Зависимость затрат от типа ремонта**

№	Тип ремонта	Коэффициент роста затрат
1	Косметический	1
2	Средний	2
3	Капитальный	10
4	Евроремонт	100

Таблица 4 **Учет затрат на оплату рабочей силы**

№	Рабочая сила	Затраты
1	Сам	Нет
2	Наемная	Равна стоимости материалов

Таблица 5 **Множества возможных решений в соответствии с заданием**

№ правила	Вариант по табл. 2	Вариант по табл. 3	Вариант по табл. 4	Расчетная сумма	Решение

Решение:

Во-первых, потратьте пару минут и решите эту загадку. Во-вторых, представьте себе, как вы будете объяснять ход решения кому-нибудь постороннему, но при этом нельзя пользоваться никакими вспомогательными средствами вроде карандаша и бумаги. Для многих эта загадка представляется головоломной, причем немало и таких, которые не могут проследить за ходом уже описанного решения

Ответ прост:

отец смотрит на портрет сына (человек, который смотрит на портрет - отец человека, изображенного на портрете). Как мы пришли к такому заключению, станет ясно после того, как мы воспользуемся логическим представлением. Пусть Вася—человек на портрете, а Федя— человек, который смотрит на портрет.

„ ...это сын моего отца”.

Сын (отец (Федя)), (отец (Вася) "У меня
нет братьев и сестер For all X,
If сын (отец (Федя), X) Then
X=Федя.

Здесь сын - это отношение между двумя людьми, а отец— функция, поскольку каждый имеет только одного отца. Из этого утверждения после подстановки совершенно очевидно следует

Отец (Васи) = Федя.

Таким образом. Федя смотрит на портрет своего сына. Правильное логическое представление зачастую значительно упрощает решение задачи и делает его более понятным. Но сформировать такое представление -это в значительной мере искусство.

3. ЗАДАЧА

Задача коммивояжера

Предположим, коммивояжер должен посетить пять городов, и вернуться домой. Задача состоит в том, чтобы найти кратчайший путь. На рис. 1 дан пример этой задачи. Вершины графа (Швейцарский математик Леонард Эйлер изобрел теорию графов) представляют города, а метка на каждой дуге указывает стоимость путешествия по ней. Эта стоимость может означать длину отрезка пути в километрах, если коммивояжер пользуется автомобилем, или цену авиабилета при использовании самолета. Для удобства предположим, что коммивояжер проживает в городе А и должен вернуться в город А. Это предположение попросту сводит задачу с n-городами к проблеме с n-1 городом.

Представить возможные пути решения задачи и найти путь кратчайшей длины, т.е. построить цепочку с минимальной стоимостью?

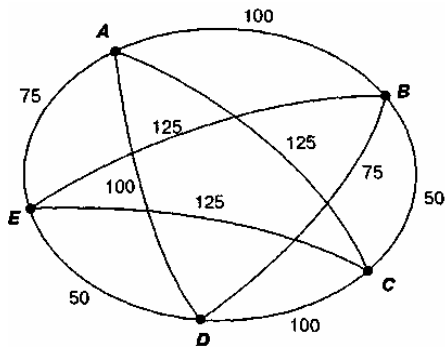


Рис. 1- Пример пути в задаче коммивояжера

Решение:

Рассмотрим один из возможных путей [A, D, C, B, E, A] длиной (стоимостью путешествия) в 450 км. Целью является нахождение пути кратчайшей длины, т.е. построение цепочки с минимальной стоимостью. Заметим, что цель — это глобальное свойство графа, а не свойство отдельного состояния.

На рис.2 указан способ представления возможных путей решения задачи и приведены результаты их сравнения. Начиная от вершины A, к пути добавляются возможные следующие состояния до тех пор, пока не исчерпается список городов и путь возвратится в исходную точку. Целью является нахождение пути кратчайшей длины (минимальной стоимости).

Как показано на рис. 2, исчерпывающий поиск в задаче коммивояжера состоит в переборе $(N-1)!$ вариантов, где N — число вершин графа (или число городов). Для 9 городов можно непосредственно проверить все вершины. Но в реальных ситуациях, например для 50 городов, непосредственный перебор невозможен. На самом деле сложность вычислений $N!$ растет столь быстро, что очень скоро прямой перебор всех вариантов станет неосуществимым.

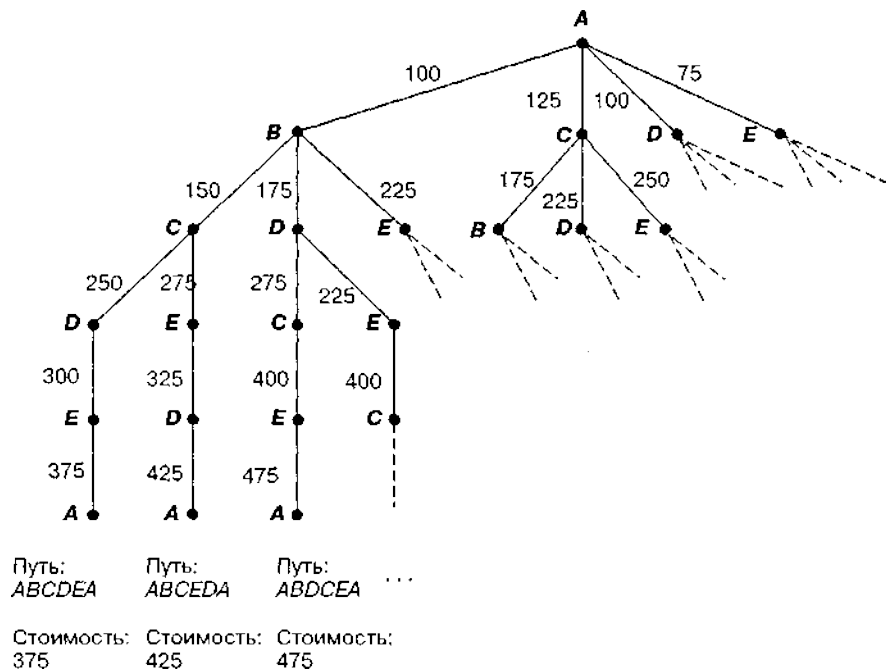


Рис. 2. Поиск в задаче коммивояжера.

Метка каждой дуги соответствует суммарному весу всего пути от начальной вершины A до конечной точки дуги

Разработано множество методов, сокращающих сложность поиска. Один из них - это метод ветвей и границ. В этом методе на каждом шаге порождается один из возможных вариантов пути, при этом учитывается наилучший из ранее построенных путей. Этот путь используется в качестве границы для будущих кандидатов. Поскольку на каждом шаге к пути добавляется один город, алгоритм анализирует все возможные продолжения. Если обнаруживается, что все возможные продолжения некоторого пути (ветвь) дороже, чем заданная граница, алгоритм уничтожает эту ветвь и все возможные ее продолжения. В результате сложность поиска существенно сокращается, но все же остается экспоненциальной ($1,26^N$ вместо $N!$).

Еще одна стратегия состоит в конструировании пути по правилу "идти в ближайший не посещенный город". Путь к "ближайшему соседу" на рис. 2 это [A, E, D, B, C, A], его стоимость 375 км. Этот метод высоко эффективен, так как на каждом шаге выбирается лишь один вариант. Но эвристика поиска ближайшего соседа не всегда приводит к получению пути кратчайшей длины, как показано на рис. 3. Однако она является возможным компромиссом в случае, если полный перебор неосуществим практически.

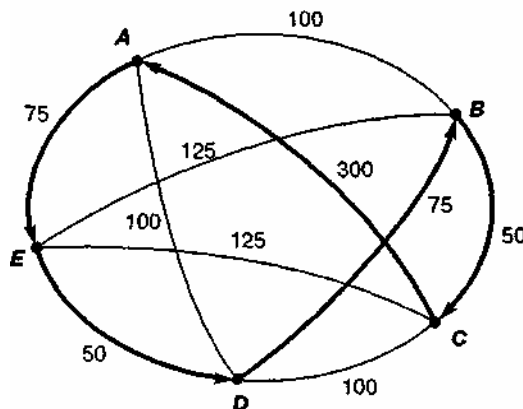


Рис. 3 - Пример пути в задаче коммивояжера, полученный на основе поиска ближайшего соседа.

Отметим, что этот путь (A,E,D,B,C,A) имеет стоимость 550 и не является кратчайшим. Сравнительно высокая стоимость дуги (C A) не учитывается эвристикой.

**Тема 2. Построение и аппарат экспертных систем в машиностроении
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 «Разработка блок – схемы экспертной
системы для принятия решения»**

Разработка блок – схемы экспертной системы для принятия решения

Пример. Руководство инвестиционной компании при выборе большого земельного участка для вложения своих (и привлеченных) средств решает:

- создавать ли на нем крупный культурно-оздоровительный комплекс с ма-газинами и предприятиями бытового обслуживания (проект «Аквадром»);
- вложить деньги в гаражное строительство (проект «Гараж»);
- отказаться от проекта вообще и использовать другие формы вложения денег (проект «Депозит»).

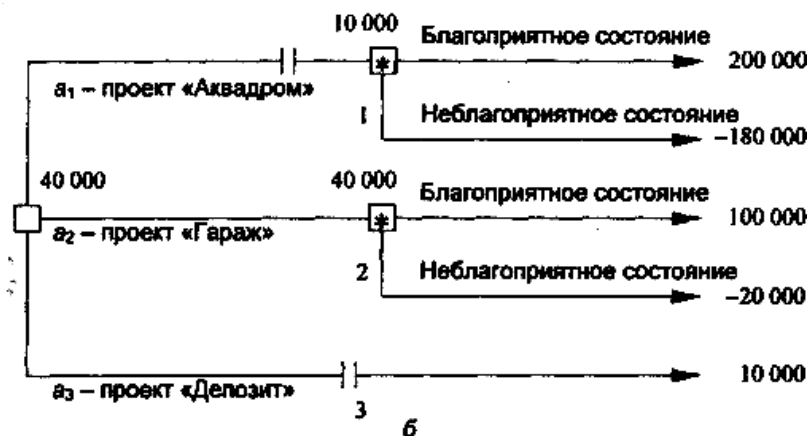
Размер выигрыша, который компания может получить, зависит от благоприятного или неблагоприятного состояния рынка городских услуг (рис. 1, а). На основе таблицы выигрышей (потерь) можно построить дерево решений (рис. 1, б).

Номер стратегии	Действия компании	Выигрыш при конкретном состоянии экономической среды, долл.	
		благоприятном	неблагоприятном
1	(a ₁) Строительство: проект «Аквадром»	200 000	-180 000
2	(a ₂) Строительство: проект «Гараж»	100 000	-20 000
3	(a ₃) Проект «Депозит»	10 000	10 000

* Вероятность благоприятного и неблагоприятного состояний экономической среды в условиях неопределенности равна 0,5

а

Рис. 1 - Древоидная процедура принятия решения: а - размер выигрыша в



б

зависимости от состояния рынка; б - дерево решений без дополнительного исследования конъюнктуры рынка: — решение (решение принимает игрок); -случай (решение «принимает» случай); II-отвергнутое решение

Процедура принятия решения заключается в вычислении для каждой вершины дерева (при движении справа налево) ожидаемых денежных оценок, отбра-

сывании неперспективных ветвей и выборе ветвей, которым соответствует максимальное значение ОДО.

Определим средний ожидаемый выигрыш - ожидаемая денежная оценка (ОДО). Она рассчитывается как сумма произведений размеров выигрышей на вероятности этих выигрышей. Результаты показаны в табл.2.

Таблица .2

Определение ожидаемого выигрыша

Вершина	Расчетное выражение, долл.	Выигрыш, долл.
Вершина 1, ОДО ₁	$0,5 \cdot 200\ 000 + 0,5 (-180\ 000)$	10 000
Вершина 2, ОДО ₂	$0,5 \cdot 100\ 000 + 0,5 (-20\ 000)$	40 000
Вершина 3, ОДО ₃	-	10 000

Вывод. Наиболее целесообразно выбрать стратегию a_2 , т.е. выбрать проект «Гараж», а ветви (стратегии) a_1 и a_3 дерева решений можно отбросить. ОДО наилучшего решения равна 40 000 долл. Следует отметить, что наличие состояния с вероятностями 50 % неудачи и 50 % удачи на практике часто означает,

что истинные вероятности игроку скорее всего неизвестны и он всего лишь принимает такую гипотезу «пятьдесят на пятьдесят».

Усложним рассмотренную выше задачу.

Пусть перед тем как принимать решение о строительстве (или об отказе от него), руководство компании должно определить, заказывать дополнительное исследование состояния рынка городских услуг или нет. Причем предоставляемая услуга обойдется компании в 10 000 долл. Руководство понимает, что дополнительное исследование по-прежнему не способно дать точной информации, но оно поможет уточнить ожидаемые оценки конъюнктуры рынка, изменив тем самым значения вероятностей.

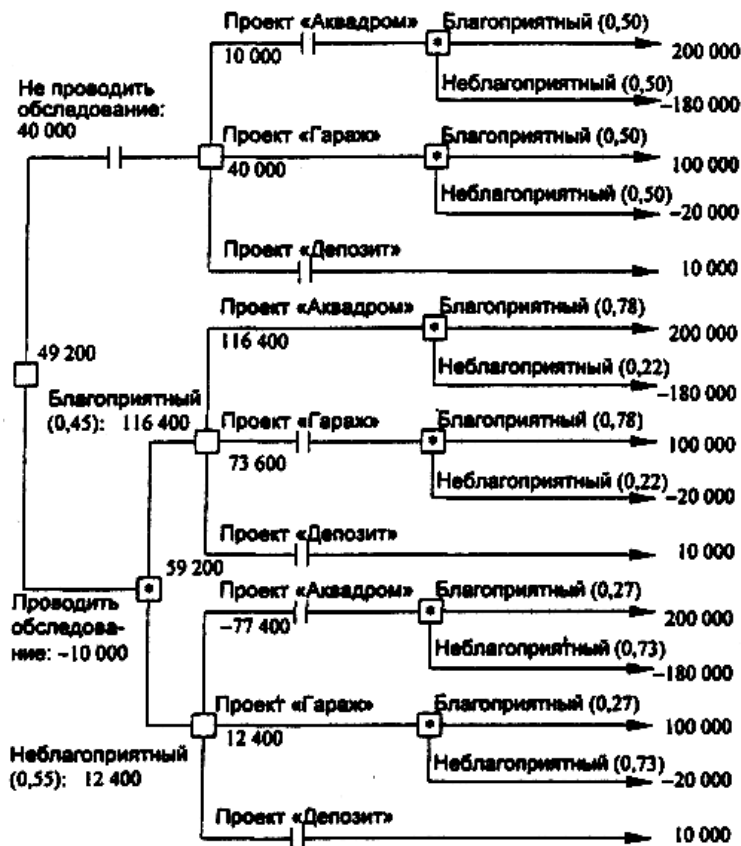
Относительно маркетинговой фирмы, которой можно заказать прогноз, известно, что она способна уточнить значения вероятностей благоприятного или неблагоприятного исхода. Возможности этой фирмы в виде условных вероятностей благоприятности и неблагоприятности рынка представлены на рис. 2, а. Например, когда фирма утверждает, что рынок благоприятный, то с вероятностью 0,78 этот прогноз оправдывается (с вероятностью 0,22 могут возникнуть неблагоприятные условия), прогноз неблагоприятности рынка оправдывается с вероятностью 0,73.

Предположим, что маркетинговая фирма, которой заказали прогноз состояния рынка, сделала следующий прогноз:

- ситуация будет благоприятной с вероятностью 0,45;
- ситуация будет неблагоприятной с вероятностью 0,55.

Прогноз маркетинговой фирмы	Вероятность удачного прогноза	
	Благоприятный	Неблагоприятный
Благоприятный (0,45)	0,78	0,22
Неблагоприятный (0,55)	0,27	0,73

а



б

Рис..2. Принятие решений при дополнительном исследовании рынка:
а - вероятность удачного прогноза; б - дерево решений

На основании дополнительных сведений можно построить новое дерево решений (рис. 2, б), где развитие событий происходит от корня дерева к исходам, а расчет прибыли выполняется от конечных состояний к начальным.

Выводы. Необходимо проводить дополнительное исследование конъюнктуры рынка, поскольку это позволяет существенно уточнить принимаемое решение. Если фирма прогнозирует благоприятную ситуацию на рынке, то целесообразно выбрать проект «Аквадром» (ожидаемая максимальная прибыль 116 400 долл.), если прогноз неблагоприятный - проект «Гараж» (ожидаемая максимальная прибыль 12 400 долл.).

Определим ожидаемую ценность точной информации. Предположим, что консалтинговая фирма за определенную плату готова предоставить информацию о фактической ситуации на рынке в тот момент, когда руководству компании надлежит принять решение о выборе проекта. Принятие предложения этой консалтинговой фирмы зависит от соотношения между ожидаемой ценностью (результативностью) точной информации и величиной запрошенной платы за дополнительную (истинную) информацию, благодаря которой может быть откорректировано принятие решения, т.е. первоначальное действие может быть своевременно изменено.

Ожидаемая ценность точной информации о фактическом состоянии рынка равна разности между ожидаемой денежной оценкой при наличии точной информации и максимальной ожидаемой денежной оценкой при отсутствии точной информации.

Рассчитаем ожидаемую ценность точной информации для примера, в котором дополнительное обследование конъюнктуры рынка не проводится. При отсутствии точной информации, как уже было показано выше, максимальная ожидаемая денежная оценка равна:

$$\text{ОДО} = 0,5 \cdot 100\,000 - 0,5 \cdot 20\,000 = 40\,000 \text{ долл.}$$

Если точная информация об истинном состоянии рынка будет благоприятной (ОДО = 200 000 долл., см. рис. 5.1, а), принимается решение в пользу проекта «Аквадром»; если неблагоприятной, то наиболее целесообразное решение - это проект «Депозит» (ОДО = 10 000 долл.). Учитывая, что вероятности благоприятной и неблагоприятной ситуаций равны 0,5, значение ОДО точной информации (ОДО_{ти}) определяется выражением:

$$\text{ОДО}_{\text{ти}} = 0,5 \cdot 200\,000 + 0,5 \cdot 10\,000 = 105\,000 \text{ долл.}$$

Тогда ожидаемая ценность точной информации

$$\text{ОЦ}_{\text{ти}} = \text{ОДО}_{\text{ти}} - \text{ОДО} = 105\,000 - 40\,000 = 65\,000 \text{ долл.}$$

Значение ОЦ_{ти} показывает, какую максимальную цену должна быть готова заплатить компания за точную информацию об истинном состоянии рынка в тот момент, когда ей это необходимо. При явной эффективности рассмотренной выше многоэтапной процедуры принятия решений следует отметить два обстоятельства, усложняющие ее применение на практике:

- 1) вероятности «ветвления» по дереву решений зачастую определяются экспертами консалтинговых фирм, причем необходимы дополнительные эксперты-аудиторы, которые оценивали бы надежность работы таких фирм;
- 2) прибыли (убытки) невозможно просчитать только по сметам бизнес-плана проекта; эти прибыли (убытки) зависят от сроков и динамики реализации проекта.

Задание. Руководство инвестиционной компании при выборе большого земельного участка для вложения своих (и привлеченных) средств решает:

-создавать ли на нем крупный культурно-оздоровительный комплекс с магазинами и предприятиями бытового обслуживания (проект «Аквадром»);

- вложить деньги в гаражное строительство (проект «Гараж»);

- отказаться от проекта вообще и использовать другие формы вложения денег

(проект «Депозит»).

Номер стратегии	Действия компании	Размер выигрыша	
		Выигрыш при конкретном состоянии экономической среды, долл.	
		благоприятном	неблагоприятном
1	(a ₁) Строительство: проект «Аквадром»	200 000	-180 000
2	(a ₂) Строительство: проект «Гараж»	100 000	-20 000
3	(a ₃) Проект «Депозит»	10 000	10 000

Разра

ботать
вовидную
цедуру

ра-
дре-
про-
при-
ше-

ния о вложении инвестиционной компанией средств.

Исходные данные

Размер выигрыша, который компания может получить, приведен в табл.1 Таблица 1

Варианты

Прогноз маркетинговой службы	Вероятность удачного прогноза	Стоимость дополнит. Исследов., \$		
		Благопр.	Неблагопр.	
1 В	Благ. (0.4)	0.78	0.22	10000
	Не- благ.(0.6)	0.27	0.73	
2 В	Благ. (0.48)	0.55	0.45	15000
	Не- благ.(0.52)	0.32	0.68	
3 В	Благ. (0.55)	0.6	0.4	5000
	Не- благ.(0.45)	0.22	0.78	
4 В	Благ. (0.7)	0.81	0.19	13000
	Не- благ.(0.3)	0.25	0.75	
Влаг. (0.35)	Благ.	0.65	0.35	10000
	Не- благ.(0.65)	0.34	0.66	

**Тема 3. Методика разработки экспертных систем для
технологического объекта**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 «Прямой и обратный логический выводы»

Пример В форме двудольного графа требуется получить модель знаний о геометрическом объекте - ромбе. Ромб имеет 7 характеристик: длину стороны a , острый угол, тупой угол, площадь S , периметр P и диагонали d_1 и d_2 . Эти величины связаны следующими формулами:

Построим двудольный граф с семью черными вершинами (a, S, P, d_1, d_2) и пятью белыми (для каждой из пяти формул).

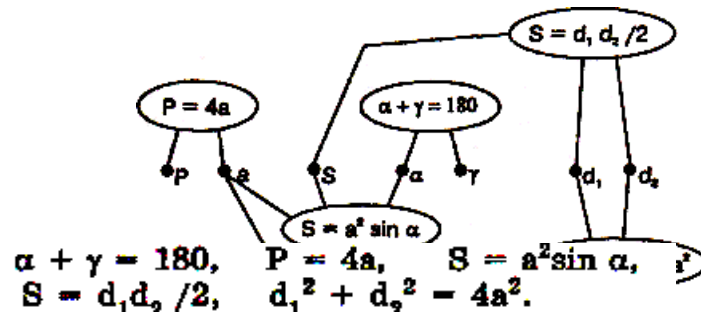


Рисунок 1

Прямой и обратный вывод

Пример В качестве примера рассмотрим процесс решения задачи на основе двудольного графа на рис.1, представляющего модель знаний о ромбе. Введем обозначения для формул, связывающих характеристики ромба:

- F1: $\alpha + \gamma = 180,$
- F2: $P = 4a,$
- F3: $S = a^2 \sin \alpha,$
- F4: $S = d_1 d_2 / 2,$
- F5: $d_1^2 + d_2^2 = 4a^2.$

Дано: длины диагоналей d_1, d_2 . Определить: углы ромба α и γ .

Решение с помощью семантической сети сводится к поиску путей на графе, позволяющих от вершин с исходными данными добраться до вершин с искомыми величинами. Такой поиск можно автоматизировать.

Отметим следующее обстоятельство: связи в нашей системе заданы формулами. Формула определяет способ вычисления любой входящей в нее величины через остальные. Например, из формулы F3: $S = a^2 \sin \alpha$ можно вычислить S , если знаем a и α ; можно вычислить a , если знаем S и α ; можно вычислить α , если знаем a и S .

Теперь об алгоритме вывода. Вывод новых знаний может идти «в двух направлениях»: от известных данных к цели (результатам) и от цели к известным данным. Первый способ называется *прямой волной, прямым поиском, прямой стратегией вывода*, второй — *обратной волной, обратным поиском, обратной стратегией вывода*.

Для нашего примера прямой поиск пойдет от известных величин — d_1 и d_2

- к искомым — a и α . Обратный поиск — от искомого a и α к заданным d_1 и d_2

. Последовательность шагов алгоритма поиска отобразим в виде таблицы.

№ шага	Что известно	Что требуется	Какие связи можем применить	Какую связь применим	Что найдем
1	d_1, d_2	α, γ	F5, F4	F5	a
2	d_1, d_2, a	α, γ	F4, F2	F4	S
3	d_1, d_2, a, S	α, γ	F2, F3	F2	P
4	d_1, d_2, a, S, P	α, γ	F3	F3	α
5	$d_1, d_2, a, S, P, \alpha$	γ	F1	F1	γ
6	$d_1, d_2, a, S, P, \alpha, \gamma$				

2)

Множество известных данных расширилось, поэтому вначале второго шага снова проверим, а не входят ли искомые величины в множество уже известных? Нет. Продолжим поиск. Известные величины d_1 и d_2, a – позволяют применить три связи: F5, F4, F2. Применять связь F5 нет смысла: ее уже использовали и ничего нового она дать не может. Остаются F4 и F2. Выберем случайным образом одну из них, например F4.

Применение этой связи позволит отыскать площадь ромба S.

3) Третий шаг опять начнем с проверки, не получен ли результат? Поскольку это не так, оценим достигнутое. Четыре известные характеристики ромба позволяют применить две связи F2 и F3 не считая уже отработанных F4 и F5. Выберем случайным образом одну из них, скажем F2. Применив ее, найдем длину периметра P.

Замечание. Мы описываем формальный алгоритм, пригодный для про-

1) Для начала проверим, не принадлежат ли искомые данные к множеству уже известных. В нашем случае это не так. Известны d_1 и d_2 , требуется найти α и γ . Начнем поиск. Зная диагонали, мы имеем достаточно данных для того, чтобы применить связи F5 и F4. Выберем одну из них случайным образом, например F5. Преобразовав соответствующее математическое выражение, найдем a — длину стороны ромба.

граммирования. Разумеется, человек не стал бы делать этот шаг, совершенно лишний для достижения результата. А вот машина его сделать вполне может, поскольку здесь работает механизм случайного выбора.

4) Искомые величины все еще не найдены, поэтому продолжим поиск. Единственная связь, которой до сих пор не воспользовались и которая готова к применению, это связь F3. Воспользуемся ей для того, чтобы найти угол.

5) Одно из искомых значений найдено. Осталась одна неопределенная величина и единственная неиспользованная связь - F1. Применим F1 и найдем с ее помощью второй угол.

6) Сравнение множества известных данных и множества искомых данных показывает, что все требуемые данные найдены. Значит задача решена.

Поиск закончился удачно. Но могло быть и не так. Возможна ситуация, когда на очередном шаге не окажется ни одной связи, способной вычислить что-то новое и готовой к использованию, а цель еще не достигнута. Это значит, что для решения задачи недостаточно исходных данных. В таком случае говорят, что задача поставлена некорректно.

Теперь рассмотрим механизм *обратного поиска*. Этот способ позволяет по-

лучить план решения задачи. Прямой поиск пути решения задачи можно совместить с самим процессом решения. При обратном поиске сначала строится план, а затем поэтому плану получается решение.

Начинаем поиск от вершин двудольного графа, содержащих углы ромба (цели). Вычислить их можно с помощью связей $F1$ и $F3$. Случайным образом выберем одну из искоемых переменных и одну из связей, которая способна ее вычислить. Пусть это будет и $F1$. Если удастся использовать эту связь, мы сможем

найти целевую величину α . Но сделать это можно только в том случае, если будет известна величина γ . Запланируем применение связи $F1$. В множестве искоемых данных оставим α .

Обратный поиск

№ шага	Что известно	Что требуется	Применение каких связей даст требуемые величины	Что будем искать	Какую связь применим	Что требуется для применения этой связи
1	d_1, d_2	α, γ	$F1, F3$	γ	$F1$	α
2	d_1, d_2	α	$F3$	α	$F3$	a, S
3	d_1, d_2	a, S	$F2, F4, F5$	a	$F5$	d_1, d_2
4	d_1, d_2	S, d_1, d_2	$F4$	S	$F4$	d_1, d_2
5	d_1, d_2	d_1, d_2				

1) Проверим, все ли искомые данные есть в множестве известных? Не все. В множестве целевых данных один единственный элемент — α , и вычисление его возможно с помощью одной единственной связи — $F3$. Для применения этой связи нужны a и S . Планируем применение связи $F3$, удаляем из целевого множества α , добавляем туда a и S .

2) Все ли искомые данные известны? Нет. Выберем случайно одну из целевых переменных, например a , и одну из связей для ее вычисления, например $F5$. Для ее применения нужны d_1 и d_2 . Планируем применение связи $F5$, вычеркиваем a из множества искоемых переменных, дописываем в это множество d_1 и d_2 .

3) В множестве искоемых данных 3 переменные, но две из них входят в множество исходных данных. Искать надо только одну переменную — S . Для этого у нас есть связь $F4$. Планируем применение этой связи. Для ее использования нужно знать значения переменных d_1 и d_2 . Запишем их в целевое множество, удалив оттуда переменную S .

4) Все требуемые данные — известны. Значит, если начать с этих данных и последовательно применять запланированные связи, в конце мы получим решение поставленной задачи. Планирование закончено.

Полученный план определяет следующий порядок применения формул для решения задачи: $F4 \rightarrow F5 \rightarrow F3 \rightarrow F1$. Сравните этот план с тем, что получен методом прямого поиска. Отсюда очевидна неоднозначность пути решения задачи.

Задание 1.

1. На модели ромба методом прямого поиска получить план решения следующей задачи: зная периметр и угол α , найти площадь ромба. Прodelать то же самое методом обратного поиска.

2. На модели ромба методом прямого поиска получить план решения следующей задачи: зная периметр и одну из диагоналей, найти площадь ромба и угол. Прodelать то же самое методом обратного поиска.

Задание 2.

Пример 1.

Пусть в некоторой области памяти (базе знаний) хранятся следующие правила (суждения):

- правило 1: ЕСЛИ в стране происходит падение курса национальной валюты, ТО материальное положение населения ухудшается;
- правило 2: ЕСЛИ объемы производства в стране падают, ТО курс национальной валюты снижается;
- правило 3: ЕСЛИ материальное положение населения ухудшается, ТО уровень смертности в стране возрастает.

Если на вход системы поступит новый факт (факт 1) «В стране высокий уровень падения объемов производства», то из правил можно построить цепочку рассуждений и сформулировать два заключения:

факт 1 – правило 2 – правило 1 – заключение 1 – правило 3 – заключение 2,

где заключение 1 (промежуточный вывод) – «Материальное положение населения ухудшается»;

заключение 2 (окончательный вывод) – «В стране возрастает уровень смертности».

Пример 2.

Предположим, что имеется фрагмент базы знаний из двух правил: П1: Если "отдых - летом" и "человек - активный", то "ехать в горы". П2: Если "любит солнце", то "отдых летом".

Предположим, в систему поступили данные - "человек активный" и "любит солнце»

Прямой вывод - исходя из данных, получить ответ.

1-й проход.

Шаг 1. Пробуем П1, не работает (не хватает данных "отдых - летом").

Шаг 2. Пробуем П2, работает, в базу поступает факт "отдых - летом". **2-й проход.**

Шаг 3. Пробуем П1, работает, активируется цель "ехать в горы", которая и выступает как совет, который дает ЭС.

Обратный вывод - подтвердить выбранную цель при помощи имеющихся правил и данных.

1-й проход.

Шаг 1. Цель - "ехать в горы": пробуем П1 -данных "отдых - летом" нет, они становятся новой цепью, и ищется правило, где она в правой части.

Шаг 2. Цель "отдых - летом"; правило П2 подтверждает цель и активирует ее.

2 й проход.

Ш

аг 3.
Пробу-
ем П1,
под-
твер-
ждает-
ся ис-
комая
цель.

Тема 4. Математические основы построения экспертных систем в машиностроении
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 «Экспертное оценивание»

Задание 1.

Рассчитайте ранги для данной упорядоченной последовательности:

Варианты:

1. $\begin{matrix} \text{f} & \sim & \sim & \text{f} & \text{f} & \text{f} & \sim & \sim & \text{f} & O_{10} \\ O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 & & \end{matrix}$
1
2. $\begin{matrix} \sim & \sim & \sim & \text{f} & \text{f} & \text{f} & \sim & \sim & \sim & O_{10} \\ O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 & & \end{matrix}$
1
3. $\begin{matrix} O_1 \text{f} O_2 \sim O_3 \sim & & \sim & \sim O_8 \text{f} O_9 \text{f} O_{10} \\ O_4 \text{f} O_5 \text{f} O_6 & & O_7 & & & & & & & \end{matrix}$
4. $\begin{matrix} \sim & \text{f} & \text{f} & \sim & \sim & \text{f} & \text{f} & \text{f} & \text{f} & O_{10} \\ O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 & \text{f} & O_{10} \\ \text{f} & \sim & \text{ff} & & \sim & \sim & \text{f} & \text{f} & \sim & O_{10} \end{matrix}$
1
5. $\begin{matrix} O_2 & O_3 & O_4 & O_5 \text{f} O_6 & O_7 & O_8 & O_9 & & & \sim \\ O & \text{f} & \text{f} & \sim O_5 & \text{ff} & & \sim & \sim & O_{10} & \sim \end{matrix}$
1
6. $\begin{matrix} \text{ff} & & \sim O_5 & \sim O_7 \text{f} & \text{f} & \sim O_{10} \text{f} \\ O_2 & O_3 \text{f} O_4 & \sim O_6 O_7 & O_8 & O_9 & O_{10} \\ \sim O_3 & \text{f} O_5 \text{f} & & \sim & \sim & \sim \end{matrix}$
1
7. $\begin{matrix} O_2 & \sim O_4 \text{f} & \sim O_6 \text{f} O_7 & O_8 & O_9 & & & & & \\ O & \text{f} O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & & \sim & \text{f} & & \end{matrix}$
1
8. $\begin{matrix} O_2 & & & & & & O_8 & O_9 & & \end{matrix}$
1
9. $\begin{matrix} O & & & & & & & & & \end{matrix}$
1
10. $\begin{matrix} \text{f} & \sim & \text{f} & \sim & \sim & \sim & \text{f} & \text{f} & \text{f} & O_{10} \\ O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 & & \end{matrix}$
1

Задание 2.

Рассчитайте относительный коэффициент компетентности для эксперта, с номером который соответствует номеру варианта.

Таблица 1 – Мнения экспертов

Мнения экспертов										
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
№ 1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
№ 2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
№ 3	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
№ 4	1	0	0	1	1	1	0	0	0	4
№ 5	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
№ 6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
№ 7	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
№ 8	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
№ 9	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
№ 10	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1

10										
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Задание 3.

Рассчитайте достоверность для эксперта, с номером который соответствует номеру варианта. В таблице 2 приведено число опросов Nn , когда каждый эксперт дал приемлемое практикой решение. В таблице 3 - общее число случаев N участия каждого эксперта в экспертизе.

Таблица 2

<i>Экс-перт</i>	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
<i>Nn</i>	2 3	4 0	1 6	1 9	3 3	1 1	3 4	2 0	1 4	25

Таблица 3

<i>Экс-перт</i>	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
<i>Nn</i>	3 1	5 1	3 0	2 3	4 3	1 7	4 5	2 9	2 7	32

Задание 4.

Рассчитайте относительную достоверность для эксперта, с номером который соответствует номеру варианта, используя данные из таблиц

Задание 5.

Эксперты оценили значения нескольких мероприятий по степени их влияния на решение одной проблемы. Результатом экспертизы явились нормированные оценки мероприятий.

Необходимо вычислить групповые оценки мероприятий, приводящих к решению проблемы и коэффициенты компетентности каждого из экспертов.

Вариант 1. (Точность 0,0001)

x_{ij}	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4
Мероприятие 1	0,52	0,4	0,22	0,55
Мероприятие 2	0,3	0,36	0,49	0,27
Мероприятие 3	0,18	0,24	0,29	0,18

Вариант 2. (Точность 0,001)

x_{ij}	Экс- перт №1	Экс- перт №2	Экс- перт №3	Экс- перт №4	Экс- перт №5
Мероприятие 1	0,75	0,69	0,52	0,81	0,21
Мероприятие 2	0,25	0,31	0,48	0,19	0,79

Вариант 3. (Точность 0,00001)

x_{ij}	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3
Мероприятие 1	0,14	0,13	0,22
Мероприятие 2	0,19	0,1	0,21
Мероприятие 3	0,28	0,35	0,29
Мероприятие 4	0,39	0,42	0,28

Вариант 4. (Точность 0,001)

x_{ij}	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4
Мероприятие 1	0,25	0,44	0,59	0,66
Мероприятие 2	0,36	0,14	0,13	0,22
Мероприятие 3	0,39	0,42	0,28	0,12

Вариант 5. (Точность 0,001)

x_{ij}	Экс- перт №1	Экс- перт №2	Экс- перт №3	Экс- перт №4	Экс- перт №5
Мероприятие 1	0,63	0,72	0,49	0,32	0,1
Мероприятие 2	0,37	0,18	0,51	0,68	0,9

Вариант 6. (Точность 0,0001)

x_{ij}	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3
Мероприятие 1	0,32	0,1	0,29
Мероприятие 2	0,16	0,29	0,29
Мероприятие 3	0,19	0,1	0,18
Мероприятие 4	0,33	0,51	0,24

**Тема 5. Основные инструментальные средства разработки
экспертных систем в машиностроении
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 «Байесовская стратегия логического вывода»**

Задание 1

В некоторой базе знаний БЗ имеется три взаимно-независимые гипотезы: H_1 , H_2 , H_3 , которые имеют априорные вероятности $p(H_1)$, $p(H_2)$, $p(H_3)$, соответственно. Правила БЗ содержат два условно независимых свидетельства, которые поддерживают исходные гипотезы в различной степени.

Априорные и условные вероятности всех гипотез и свидетельств имеют следующие значения:

Вариант 1	i			
	$p()$	1	2	3
	$p(H_i)$	0,6	0,3	0,1
	$p(E_1 H_i)$	0,8	0,6	0,2
	$p(E_2 H_i)$	0,9	0,5	0,1

Вариант 2	i			
	$p()$	1	2	3
	$p(H_i)$	0,4	0,5	0,1
	$p(E_1 H_i)$	0,7	0,7	0,2
	$p(E_2 H_i)$	0,9	0,6	0,0

Вариант 3	i			
	$p()$	1	2	3
	$p(H_i)$	0,2	0,3	0,5
	$p(E_1 H_i)$	0,8	0,5	0,3
	$p(E_2 H_i)$	0,8	0,7	0,2

Вариант 4	i			
	$p()$	1	2	3
	$p(H_i)$	0,4	0,3	0,3
	$p(E_1 H_i)$	0,9	0,8	0,2
	$p(E_2 H_i)$	0,9	0,5	0,1

Вариант 5	i	1	2	3
	$p(\cdot)$			
	$p(H_i)$	0,4	0,2	0,4
	$p(E_1 H_i)$	0,8	0,7	0,3
	$p(E_2 H_i)$	0,7	0,5	0,1

При этом исходные гипотезы характеризуют событие, связанное с определением надежности некоторой фирмы:

H_1 – «высокая надежность фирмы», H_2 – «средняя надежность фирмы», H_3 – «низкая надежность фирмы».

Событиями, являющимися условно независимыми свидетельствами, поддерживающими исходные гипотезы являются.

E_1 – «наличие прибыли у фирмы»,

E_2 – «своевременный расчет с бюджетом».

Необходимо выявить потенциально истинную гипотезу обоими рассмотренными в лекциях способами.

ОТВЕТЫ

1	$p(H_1 E_1) \approx 0.71$ $p(H_2 E_1) \approx 0.26$ $p(H_3 E_1) \approx 0.03$	$p(H_1 E_1 * E_2) \approx 0.824$ $p(H_2 E_1 * E_2) \approx 0.172$ $p(H_3 E_1 * E_2) \approx 0.004$
2	$p(H_1 E_1) \approx 0.431$ $p(H_2 E_1) \approx 0.538$ $p(H_3 E_1) \approx 0.031$	$p(H_1 E_1 * E_2) \approx 0.545$ $p(H_2 E_1 * E_2) \approx 0.455$ $p(H_3 E_1 * E_2) \approx 0.$
3	$p(H_1 E_1) \approx 0.348$ $p(H_2 E_1) \approx 0.326$ $p(H_3 E_1) \approx 0.326$	$p(H_1 E_1 * E_2) \approx 0.487$ $p(H_2 E_1 * E_2) \approx 0.399$ $p(H_3 E_1 * E_2) \approx 0.114$
4	$p(H_1 E_1) \approx 0.545$ $p(H_2 E_1) \approx 0.364$ $p(H_3 E_1) \approx 0.091$	$p(H_1 E_1 * E_2) \approx 0.72$ $p(H_2 E_1 * E_2) \approx 0.267$ $p(H_3 E_1 * E_2) \approx 0.013$
5	$p(H_1 E_1) \approx 0.552$ $p(H_2 E_1) \approx 0.241$ $p(H_3 E_1) \approx 0.207$	$p(H_1 E_1 * E_2) \approx 0.732$ $p(H_2 E_1 * E_2) \approx 0.229$ $p(H_3 E_1 * E_2) \approx 0.039$

Теорема Байеса на языке шансов

Байесовская стратегия вывода оперирует вероятностными знаниями. Её основная идея заключается в оценке апостериорной вероятности гипотезы при наличии фактов, подтверждающих или опровергающих гипотезу.

Пусть $P(H)$ - априорная вероятность гипотезы H при отсутствии каких-либо свидетельств;

$P(H|E)$ - апостериорная вероятность гипотезы H при наличии свидетельства E .

Согласно теоремы Байеса:

$$P(H|E) = \frac{P(H \& E)}{P(E)} \quad (1)$$

$$P(H^*) = P(E) P(H|E) + P(\bar{E}) P(H|\bar{E}),$$

где $P(H^*)$ оценивает новую вероятность гипотезы H с учётом свидетельства E .

Введем отношение правдоподобия $ОП(H|E)$,

$$ОП(H|E) = \frac{P(E|H)}{P(E|\bar{H})} \quad (2)$$

а также формулу для вычисления шансов $O(H)$,

$$O(H) = \frac{P(H)}{1 - P(H)} \quad (3)$$

Из (3) нетрудно обратным преобразованием получить

$$P(H) = \frac{O(H)}{1 + O(H)} \quad (4)$$

Теперь формула Байеса на языке шансов принимает следующий вид:

$$O(H^*) = O(H) ОП(H|E), \quad (5)$$

где $O(H^*)$ - новая оценка шансов для гипотезы H с учётом свидетельства E ,

Формула (5) при наличии многих свидетельств E_1, E_2, \dots, E_n принимает вид:

$$O(H^*) = O(H) \cdot \prod_{i=1}^n ОП(H/E_i) \quad (6)$$

Таким образом, на основании формул (5) и (6) имеется возможность просто пересчитывать апостериорные вероятности гипотез на основании получаемых свидетельств. Теорема Байеса является основой механизма вывода в экспертных системах PROSPECTOR и HULK.

Рассмотрим другой пример с шансами для оценки дождя на другой день, если сегодня сырой, облачный, ветреный сентябрьский день. Предположим, имеется некоторая статистика, собранная по сентябрьским дням и сведенная в таблицу 1:

Таблица.1- Статистика по сентябрьским дням

Фактор, характеризующий текущий день	Значение	Число дождливых дней	Число не дождливых дней
Влажность	высокая средняя умеренная	35	18
		12	42
		6	60
		- 53	- 120
Ясность	ясно облачно пасмурно	5	83
		8	27
		40	10
		- 53	- 120
Ветреность	слабая средняя сильная	19	52
		27	44
		7	24
		- 53	- 120

Известно, что общее число наблюдаемых сентябрьских дней – 173, а число дождливых дней – 53.

Оценим априорные шансы дождя на следующий день:

$$O(\text{дождь}) = \frac{P(\text{дождь})}{P(\text{не дождь})} = \frac{53}{173 - 53} = 0.44$$

Теперь вычислим отношения правдоподобия с учетом свидетельств:

$$OP(\text{дождь} _ \text{завтра} \mid \text{сырой} _ \text{день}) = \frac{P(\text{сырой} _ \text{день} \mid \text{дождь} _ \text{завтра})}{P(\text{сырой} _ \text{день} \mid \text{не} _ \text{дождь} _ \text{завтра})} = \frac{35}{53} / \frac{18}{120} = 4.4$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ОП (дождь_завтра | облака)} = \frac{P(\text{облака} | \text{дождь_завтра})}{P(\text{облака} | \text{не_дождь_завтра})} = \frac{8}{53} / \frac{27}{120} = 0.67. \quad 30 \\
 & \text{ОП (дождь_завтра | ветрено)} = \frac{P(\text{ветрено} | \text{дождь_завтра})}{P(\text{ветрено} | \text{не_дождь_завтра})} = \frac{7}{53} / \frac{2}{20} = 0.66.
 \end{aligned}$$

Далее, используя формулу (6), находим

$$O(\text{дождь} _ \text{завтра}^*) = 0.44 \cdot 4.4 \cdot 0.67 \cdot 0.66 = 0,856$$

и с помощью формулы (4) рассчитываем вероятность дождя завтра, если сегодня облачная, сырая и ветреная погода:

$$P(\text{дождь} _ \text{завтра}^*) = \frac{0,856}{1,856} = 0,46$$

Таким образом, байесовская стратегия позволяет корректировать вероятность гипотезы с учетом известных факторов.

Задание 2.

Имеется некоторая статистика, собранная по сентябрьским дням и сведенная в таблицу 1:

Таблица.1- Статистика по сентябрьским дням

Фактор, характеризующий день	Значение	Число дождливых дней	Число не дождливых дней
Влажность	высокая средняя умеренная	35	18
		12	42
		6	60
		- 53	- 120
Ясность	ясно облачно пасмурно	5	83
		8	27
		40	10
		- 53	- 120
Ветренность	слабая средняя сильная	19	52
		27	44
		7	24
		- 53	- 120
Итого			

Оценить априорные шансы дождя на следующий день. Вычислить отношения правдоподобия с учетом свидетельств. Рассчитать вероятность дождя завтра, если **1 вариант**.- сегодня облачная, сырая и ветреная погода.

2 вариант – сегодня пасмурно, сырая и ветреная погода.

3 вариант - сегодня пасмурно, влажность умеренная и ветренность сильная.

Задание 3. Определить МД, НМД в рассмотренном примере и рассчитать КУ.

Пример. Правило 1

ЕСЛИ X водит «Волгу»,

И X читает «Известия»,

ТО X будет голосовать за «диванную партию».

Правило 2

ЕСЛИ X не любит «желтую прессу»,

ИЛИ X хочет, чтобы все события в прессе, отражались объективно, ТО

X будет голосовать за «диванную партию».

Примем, что значения МД для этого X таковы:

1а. X водит «Волгу» 0,8 }

1б. X читает «Известия» 0,75 } И $\leq \geq \min$

2а. X не любит «желтую прессу» 0,4 }

2б. X хочет, чтобы все события в прессе, отражались объективно 0,6 } ИЛИ $<$

$= > \max$. Тогда гипотеза, что X голосует за «диванную партию», поддерживается на уровне 0,75 правилом 1 и на уровне 0,6 правилом 2. Применяя приведённую формулу,

получаем:
$$\text{МД [EP/ правило1, правило2]} = \text{МД [EP/ правило1]} + \text{МД [EP / правило2]}(1 - \text{МД[EP/ правило1]}) = 0,75 + 0,6 * 0,25 = 0,9.$$

Тема 6. Построение базы знаний экспертной системы для технологического объекта

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 «Нечеткие множества, нечеткие отношения и нечеткий вывод»

Построение нечеткой модели.

Пример 1. Рассмотрим типичную ситуацию, связанную с консалтингом в области выбора профессии для последующего обучения и получения соответствующей специальности. С этой целью построим нечеткую модель, основанную на двух бинарных нечетких отношениях S и T . Первое из этих нечетких отношений строится на двух базисных множествах X и Y , а второе – на двух базисных множествах Y и Z . Здесь X описывает множество специальностей, по которым проводится набор на обучение, Y – множество психофизиологических характеристик, а Z – множество кандидатов на обучение. В интересующем нас контексте нечеткое отношение S содержательно описывает психофизиологическое профилирование специальностей, а T – психофизиологическое профилирование кандидатов на обучение.

Для конкретности, пусть, $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$,
 $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}\}$ и $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$. Элементы универсумов имеют следующий содержательный смысл:

x_1 – «менеджер», x_2 – «программист», x_3 – «водитель», x_4 – «секретарь»,
 x_5 – «переводчик»;

y_1 – «быстрота и гибкость мышления», y_2 – «умение быстро принимать решения»,
 y_3 – «устойчивость и концентрация внимания», y_4 – «зрительная память»,
 y_5 – «быстрота реакции», y_6 – «двигательная память», y_7 – «физическая выносливость»,
 y_8 – «координация движений», y_9 – «эмоциональная устойчивость», y_{10} – «ответственность»;

z_1 – «Петров», z_2 – «Иванов», z_3 – «Сидоров», z_4 – «Васильева», z_5 – «Григорьева».

Конкретные значения функций принадлежности $\mu_S(< x_i, y_j >)$ и $\mu_T(< y_j, z_k >)$

рассматриваемых нечетких отношений представлены следующими таблицами (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Нечеткое отношение S профилирования специальностей обучения

Быстро-та и гиб- кость мышления		Умение быстро принимать решения	Устойчи- вость и кон- центрация внимания	Зри- тель- ная память	Быст- рота ре- акции
Менеджер	0,9	0,9	0,8	0,4	0,5

Програм- мист	0,8	0,5	0,9	0,3	0, 1
Водитель	0,3	0,9	0,6	0,5	0, 9
Секре- тарь	0,5	0,4	0,5	0,5	0, 2
Перевод- чик	0,7	0,8	0,8	0,2	0, 6

Двига- тельная па- мять	Физиче- ская вынос- ливость	Коорди- на- ция дви- жений	Эмоцио- волевая нально- устойчивость	Ответс- ность
Менеджер	0,6	0,2	0,9	0,8
Програм- мист	0,2	0,2	0,5	0,5
Водитель	0,8	0,9	0,6	0,3
Секретарь	0,2	0,3	0,9	0,8
Перевод- чик	0,2	0,2	0,3	0,2

Таблица 2 – Нечеткое отношение T профилирования кандидатов на обучение

	Пет ров	Ива нов	Си- доров	Ва- сильева	Гри- горьева
Быстрота и гибкость мышления	0,9	0,8	0,7	0,9	1
Умение быстро прини- мать решения	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6
Устойчивость и кон- центрация внимания	0,5	0,2	0,3	0,8	0,7
Зрительная память	0,5	0,9	0,5	0,8	0,4
Быстрота реакции	1	0,6	0,5	0,7	0,4
Двигательная память	0,4	0,5	1	0,7	0,8
Физическая выноси- мость	0,5	0,8	0,9	0,5	0,4
Координация движений	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5
Эмоционально-волевая устойчивость	0,8	1	0,2	0,5	0,6
Ответственность	0,3	0,5	0,9	0,6	0,8

Матрицы этих нечетких отношений имеют следующий вид:

Поскольку рассматриваемые нечеткие отношения удовлетворяют формальным требованиям, необходимым для выполнения их нечеткой композиции согласно, результат операции нечеткой композиции этих отношений может быть представлен в виде матрицы результирующего нечеткого отношения:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{ccccc}
 0 & 0 & 0 & 0,9 \\
 0,9 & ,9 & ,8 & ,9 & 0,8 \\
 0,8 & ,8 & ,7 & ,8 & 0,8 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8 \\
 0,9 & ,8 & ,9 & ,7 & 0,6 \\
 0,8 & ,8 & ,7 & ,8 & 0,7
 \end{array} \right] \\
 \\
 = \\
 \left[\begin{array}{ccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0,9 & ,8 & ,9 & ,7 & 0,6 \\
 0,8 & ,8 & ,7 & ,8 & 0,7
 \end{array} \right]
 \end{array} \\
 M_{S \otimes T}
 \end{array}$$

Для наглядности преобразуем эту матрицу к табличной форме (табл. 3).

Таблица 3 - Нечеткая композиция двух исходных отношений

	Пет- ров	Ива- нов	Сидо- ров	Васи- лье- ва	Григо- рье- ва
Менеджер	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9
Программист	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Водитель	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8
Секретарь	0,8	0,9	0,8	0,6	0,8
Переводчик	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7

Рассмотрим, каким образом получается одно из значений функции принадлежности композиции, например, значение $\mu_{Q \otimes R}(< x_1, y_1 >) = 0,9$. Вначале найдем минимальные значения функции принадлежности всех пар элементов первой строки табл. 1 и первого столбца табл. 2. А именно:

но: $\min\{0,9, 0,9\} = 0,9$, $\min\{0,8, 0,8\} = 0,8$, $\min\{0,5, 0,5\} = 0,5$, $\min\{0,5, 1\} = 0,5$, $\min\{0,4, 0,4\} = 0,4$, $\min\{0,5, 0,5\} = 0,5$, $\min\{0,5, 1\} = 0,5$, $\min\{0,3, 0,6\} = 0,3$, $\min\{0,5, 0,5\} = 0,5$, $\min\{0,5, 0,9\} = 0,5$, $\min\{0,2, 0,2\} = 0,2$, $\min\{0,3, 0,3\} = 0,3$. После этого найдем максимальное из 10 полученных значений, которое и будет являться искомым значением функции принадлежности: $\mu_{Q \otimes R}(< x_1, y_1 >) = \max\{0,9, 0,8, 0,5, 0,4, 0,5, 0,3, 0,5, 0,2, 0,8, 0,3\} = 0,9$. Остальные значения функции принадлежности находятся аналогично. Анализ табл. 3 показывает, что имеющимся кандидатам можно порекомен-

довать обучение по следующим специальностям (на основе максимальных значений функции принадлежности композиции рассматриваемых нечетких отношений): Петров – *менеджер, водитель*; Иванов – *менеджер, секретарь*; Сидоров – *водитель*; Васильева – *менеджер*; Григорьева – *менеджер*. С точки зрения подготовки рассматриваемых специалистов для обучения по специальности *менеджер* наиболее подходят кандидаты: Петров, Иванов, Васильева и Григорьева; по специальности *программист* – те же кандидаты; по специальности *водитель* – Сидоров; по специальности *секретарь* – Иванов; по специальности *переводчик* – Сидоров и Васильева.

Альтернативные операции композиции двух бинарных нечетких отношений. Нечеткое бинарное отношение, заданное на декартовом произведении

$X_1 \times X_3$ и обозначаемое $Q * R$, называется *(max-*)-композицией* бинарных нечетких отношений Q и R , если его функция принадлежности определяется следующим выражением:

$$\mu_{Q * R}(\langle x_i, x_k \rangle) = \max_{j \in X_2} \{ \mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle) * \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \} \quad (1)$$

$(\forall \langle x_i, x_k \rangle \in X_1 \times X_3)$

В частности, если в выражении (1) вместо операции «*» использовать операцию алгебраического умножения, то получим определение *(max-prod)-композиции*.

Проиллюстрируем результат *(max-prod)-композиции* нечетких отношений из примера 1. Эти нечеткие отношения удовлетворяют формальным требованиям, необходимым для выполнения их нечеткой *(max-prod)-композиции* согласно (1). Результат операции нечеткой композиции может быть представлен в виде следующей таблицы (табл. 4).

Таблица 4 - Нечеткая *(max-prod)-композиция* двух исходных отношений

	Петров	Иванов	Сидоров	Васильева	Григорьева
Менеджер	0,81	0,90	0,72	0,81	0,90
Программист	0,72	0,64	0,56	0,72	0,80
Водитель	0,90	0,72	0,81	0,63	0,64
Секретарь	0,72	0,90	0,72	0,48	0,64
Переводчик	0,63	0,56	0,64	0,64	0,70

Анализ табл. 4 показывает, что имеющимся кандидатам можно порекомендовать обучение по следующим специальностям (на основе максимальных значений функции принадлежности композиции рассматриваемых нечетких отношений): Петров – *водитель*; Иванов – *менеджер, секретарь*; Сидоров – *водитель*; Васильева – *менеджер*; Григорьева – *менеджер*. С точки зрения подготовки рассматриваемых специалистов для обучения по специальности *менеджер* наиболее подходят кандидаты: Иванов и Григорьева; по специальности *программист* – Григорьева; по специальности *водитель* – Петров; по специальности *секретарь* – Иванов; по специальности *переводчик* – Сидоров и Васильева.

Пример 2

Правила нечетких продукций прямой вывод

В качестве примера нахождения заключений прямым методом вывода в системах нечетких продукций рассмотрим использование модифицированной базы правил для проблемной области, связанной к проверкой граждан таможенном

пункте контроля с целью исключения возможности провоза наркотиков.

В качестве системы нечетких продукций рассмотрим следующее множество правил нечетких продукций, которое адекватно представляет ситуацию таможенного досмотра граждан при пересечении границы:

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ «Гражданин не является высокопоставленным чиновником», ТО «он подвергается таможенному досмотру» ($F_1 = 1.0$).

ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ «Гражданин является высокопоставленным чиновником», ТО «он не подвергается таможенному досмотру» ($F_2 = 0.9$).

ПРАВИЛО_3: ЕСЛИ «Гражданин не подвергается таможенному досмотру», ТО «не исключается возможность провоза наркотиков» ($F_3 = 0.8$).

ПРАВИЛО_4: ЕСЛИ «Количество граждан, проходящих таможенный осмотр, велико», ТО «контролер испытывает чувство усталости» ($F_4 = 0.6$).

ПРАВИЛО_5: ЕСЛИ «Контролер испытывает чувство усталости», ТО «не исключается возможность провоза наркотиков» ($F_5 = 0.7$).

ПРАВИЛО_6: ЕСЛИ «Гражданин подвергается таможенному досмотру» И «в отношении этого гражданина имеется агентурная информация», ТО «исключается возможность провоза наркотиков» ($F_6 = 0.95$).

ПРАВИЛО_7: ЕСЛИ «Гражданин подвергается таможенному досмотру» И «контролер использует новейшие технические средства», ТО «исключается возможность провоза наркотиков» ($F_7 = 0.95$).

При этом каждое из правил нечетких продукций имеет некоторый вес или коэффициент определенности F_i , который определяет значимость правила или сти

уверенность в степени истинности заключения, получаемого по отдельному нечеткому правилу. В качестве условий и заключений каждого из правил используются нечеткие высказывания.

Предположим, что на таможенном пункте контроля сложилась следующая текущая ситуация. Среди граждан, въезжающих в страну, находятся высокопоставленные чиновники ($T=0.2$). Количество граждан, проходящих таможенный осмотр, невелико ($T=0.1$). Таможенный пункт контроля оснащен новейшими техническими средствами ($T=0.8$). Какая-либо предварительная информация о наличии наркотиков у отдельных граждан отсутствует ($T=0.9$). Здесь в скобках указаны степени истинности соответствующих нечетких высказываний.

Проблема заключается в оценке истинности нечеткого заключения об исключении возможности провоза наркотиков через данный пункт контроля.

Рассмотрим один из возможных способов решения данной проблемы с использованием прямого метода вывода, правила max-min-композиции и нечеткой операции max-дизъюнкции для оценки одинаковых заключений. С этой целью последовательно рассмотрим все правила для получения соответствующих нечетких заключений.

Правило 1 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «граждане будут подвергнуты таможенному досмотру». Степень истинности этого нечеткого высказывания равна: $T = \min \{1 - 0.2, 1.0\} = 0.8$.

Правило 2 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «гражд-

дане не будут подвергнуты таможенному досмотру». Степень истинности
это-

го нечеткого высказывания равна: $T = \min \{0.2, 0.9\} = 0.2$.

Правило 3 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «не исключается возможность провоза наркотиков». Степень истинности этого нечеткого высказывания равна: $T = \min \{0.2, 0.8\} = 0.2$.

Правило 4 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «контролер испытывает чувство усталости». Степень истинности этого нечеткого

высказывания равна: $T = \min \{1 - 0.1, 0.6\} = 0.6$.

Правило 5 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «не исключается возможность провоза наркотиков». Степень истинности этого нечеткого высказывания рав-

на: $T = \min \{0.6, 0.7\} = 0.6$.

Правило 6 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «исключается возможность провоза наркотиков». Степень истинности этого нечеткого

высказывания рав-

на: $T = \min \{0.8, \min \{0.1, 0.95\}\} = 0.1$.

Правило 7 позволяет получить нечеткое заключение о том, что «исключается возможность провоза наркотиков». Степень истинности этого нечеткого

высказывания рав-

на: $T = \min \{0.8, \min \{0.8, 0.95\}\} = 0.8$.

Интересующее нас нечеткое высказывание является нечетким следствием правил 6 и 7. Объединяя степени истинности нечетких заключений, полученных с помощью этих правил, получим искомое значение истинности нечеткого высказывания о том, что для рассматриваемой ситуации «исключается возможность провоза наркотиков». Это значение равно:

$T = \max \{0.1, 0.8\} = 0.8$. Дополнительно можно получить степень истинности нечеткого высказывания о том, что «не исключается возможность провоза наркотиков». Это значение равно: $T = \max \{0.6, 0.2\} = 0.6$ (см. правила 3 и 5).

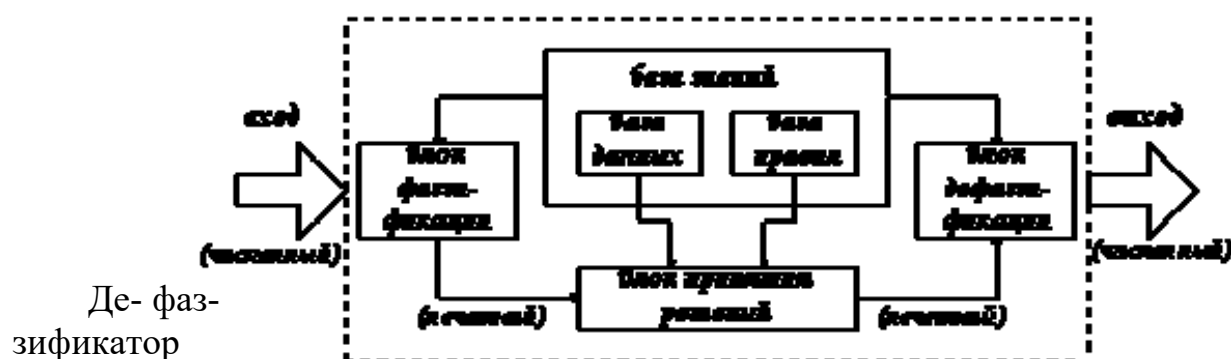
Анализ этих значений истинности показывает, что сложившаяся ситуация на таможенном пункте контроля характеризуется высоким уровнем неопределенности и может потребовать от руководства принятия дополнительных мер. Одно из таких решений может быть связано со своевременной заменой контролеров с целью предотвращения их усталости. Это решение основано на том обстоятельстве, что относительно высокая степень истинности заключения «не исключается возможность провоза наркотиков» получается при использовании правила 5, условием которого является «контролер испытывает чувство усталости».

Пример 3

Нечеткий вывод

Функциональная схема процесса нечеткого вывода в упрощенном виде представлена на рис.

На этой схеме выполнение первого этапа нечеткого вывода — фаззификации — осуществляет фаззификатор. За процедуру непосредственно нечеткого вывода ответственна машина нечеткого логического вывода, которая производит второй этап процесса вывода на основании задаваемой нечеткой базы знаний (набора правил), а также этап композиции.



выполняет последний этап нечеткого вывода — дефаззификацию.

Рассмотрим алгоритм нечеткого вывода на конкретном примере.

Пусть у нас есть некоторая система, например, реактор, описываемая тремя параметрами: температура, давление и расход рабочего вещества. Все показатели измеримы, и множество возможных значений известно. Также из опыта работы с системой известны некоторые правила, связывающие значения этих параметров. Предположим, что сломался датчик, измеряющий значение одного из параметров системы, но знать его показания необходимо хотя бы приблизительно. Тогда встает задача об отыскании этого неизвестного значения (пусть это будет давление) при известных показателях двух других параметров (температуры и расхода) и связи этих величин в виде следующих правил:

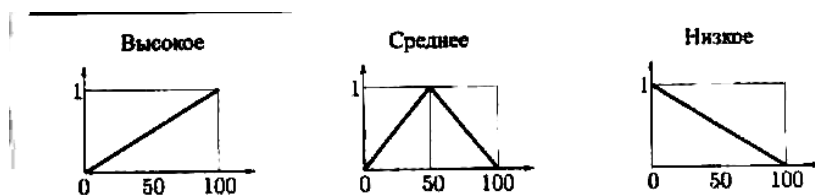
- если Температура низкая и Расход малый, то Давление низкое;

- если Температура средняя, то Давление среднее;
- если Температура высокая или Расход большой, то Давление высокое. В нашем случае Температура, Давление и Расход — лингвистические переменные. Опишем каждую из них.

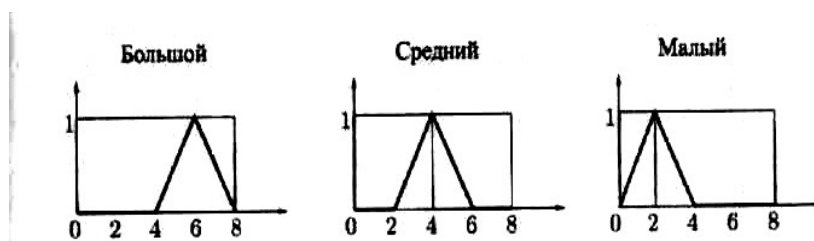
Температура. Универсум (множество возможных значений) — отрезок $[0,150]$. Начальное множество термов {Высокая, Средняя, Низкая}. Функции принадлежности термов имеют следующий вид:



Давление. Универсум — отрезок $[0,100]$. Начальное множество термов {Высокое, Среднее, Низкое}. Функции принадлежности термов имеют следующий вид:



Расход. Универсум — отрезок $[0,8]$. Начальное множество термов {Большой, Средний, Малый}. Функции принадлежности термов имеют следующий вид:



Пусть известны значения Температура 85 и Расход 3,5. Произведем расчет значения давления.

Последовательно рассмотрим этапы нечеткого вывода: Сначала по заданным значениям входных параметров найдем степени уверенности простейших утверждений вида «Лингв, переменная А есть Терм Лингв, переменной А». Этот этап называется *фаззификацией*, т. е. переходом от заданных четких значений к степеням уверенности. Получаем следующие степени уверенности:

Температура Высокая — 0,7;

Температура Средняя — 1; Температура Низкая — 0,3; Расход Большой — 0;

Расход Средний — 0,75;

Расход Малый — 0,25.

Затем вычислим степени уверенности посылок правил:

Температура низкая и Расход малый: $\min(\text{Темп. Низкая}, \text{Расход Малый}) = \min(0.3, 0.25) = 0.25$;

Температура Средняя: 1;

Температура Высокая или Расход Большой: $\max(\text{Темп. Высокая}, \text{Расход Большой}) = \max(0.7, 0) = 0.7$.

Следует отметить также тот факт, что с помощью преобразований нечетких множеств любое правило, содержащее в левой части как конъюнкции, так и дизъюнкции, можно привести к системе правил, в левой части каждого будут либо только конъюнкции, либо только дизъюнкции. Таким образом, не уменьшая общности, можно рассматривать правила, содержащие в левой части либо только конъюнкции, либо только дизъюнкции.

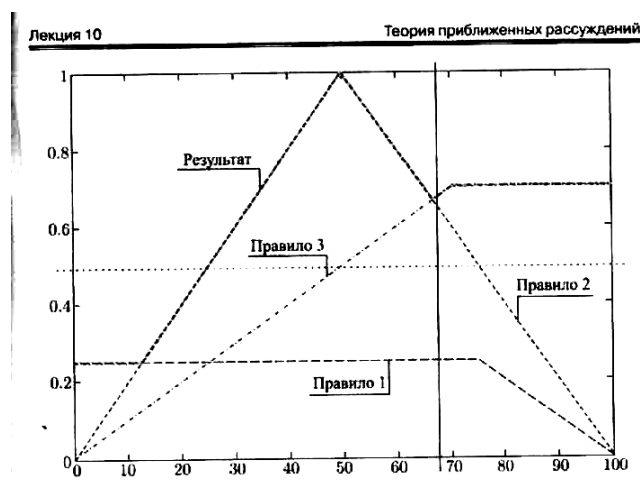
Каждое из правил представляет из себя нечеткую импликацию. Степень уверенности посылки мы вычислили, а степень уверенности заключения задается функцией принадлежности соответствующего терма. Поэтому, используя один из способов построения нечеткой импликации, мы получим новую нечеткую переменную, соответствующую степени уверенности в значении выходных данных при применении к заданным входным соответствующего правила. Используя определение нечеткой импликации как минимума левой и правой частей (определение Mamdani), имеем:



Теперь необходимо объединить результаты применения всех правил.

Теперь не-

Этот этап называется **аккумуляцией**. Один из основных способов аккумуляции — построение максимума полученных функций принадлежности. Получаем:



Полученную функцию принадлежности уже можно считать результатом. Это новый терм выходной переменной Давление. Его функция принадлежности говорит о степени уверенности в значении давления при заданных значениях входных параметров и использовании правил, определяющих соотношение входных и выходных переменных. Но обычно все-таки необходимо какое-то конкретное числовое значение. Для его получения используется этап дефаззификации, т. е. получения конкретного значения из универса по заданной на нем функции принадлежности.

Существует множество методов дефаззификации, но в нашем случае достаточно метода первого максимума. Применяя его к полученной функции принадлежности, получаем, что значение давления — 50.

Таким образом, если мы знаем, что температура равна 85, а расход рабочего вещества — 3,5, то можем сделать вывод, что давление в реакторе равно примерно 50.