

УДК 517.958:57

ПОСТРОЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
КОНСТРУКТИВНОЙ ЛОГИКИ НА ПРИМЕРЕ ГЕСТОЗОВ

В.А. ХРОМУШИН*, М.В. ПАНЬШИНА**, В.И. ДАИЛЬНЕВ***, К.Ю. КИТАНИНА*, О.В. ХРОМУШИН****

*Тулский государственный университет, e-mail: vik@khromushin.com

**Тулский областной родильный дом

***Департамент здравоохранения Тульской области

****Тулское отделение Академии медико-технических наук

Аннотация: рассматриваются принципы, этапы и особенности создания экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики. На примере гестозов показаны результаты многофакторного анализа с помощью алгебраической модели конструктивной логики и результаты построения экспертной системы. Представлена информация о созданном программном обеспечении.

Ключевые слова: модель, экспертная система, анализ, алгоритм, медицина, гестозы.

MAKINGUP AN EXPERT SYSTEM ON THE BASIS OF ALGEBRAIC MODEL
OF CONSTRUCTIVE LOGICS ON EXAMPLE GESTOSYS

V.A. KHROMUSHIN*, M.V. PANISHINA**, V.I. DAILINEV***, K.YU. KITANINA*, O.V. KHROMUSHIN****

*Tula State University, e-mail: vik@khromushin.com

**Tula Regional Puerperal House

***Department Public Healths Tula Area

****Tula Branch to ACADEMIES Medical-Technical Sciences

Abstract: the article principles, stages and particularities of the making the expert system on base of algebraic model of constructive logic. Results much factors analysis are shown on example gestosys by means of algebraic model of constructive logic and results of building of expert system. The information of created software support is presented.

Key words: model, expert system, analysis, algorithm, medicine, gestosys.

В настоящее время *алгебраическая модель конструктивной логики* (АМКЛ) широко используется для многофакторного анализа в медицине и биологии [1]. Наряду с этим АМКЛ можно использовать для построения экспертной системы [2].

АМКЛ в своей основе является моделью интуитивистского исчисления предикатов, отображающей индуктивную часть мышления – формулирование сравнительно небольшого набора кратких выводов из массивов информации большой размерности [3,4]. С общей точки зрения систему можно применять как средство, согласующее информационные каналы исследуемого объекта и пользователя [5-7]. С философской точки зрения АМКЛ обеспечивает отыскание в хаосе закономерностей.

Теория АМКЛ развивается в различных направлениях [5, 8-10]. Постоянно совершенствуется программное обеспечение [11].

Предлагаемая идеология построения экспертных систем является итогом многолетней работы коллектива авторов и позволяет существенно снизить трудоемкость разработки экспертных систем, сводя ее к формализованному набору процедур, выполняемых разработанными компьютерными программами. Необходимым условием для этого является использование АМКЛ, которая является основой построения экспертной системы.

Результаты построения экспертной системы на основе АМКЛ впервые приведены в работе по обработке слабоструктурированной информации по микроэлементным нарушениям у человека [12]. В этой работе было проведено тестирование экспертной системы на основе АМКЛ с обученной *нейронной сетью* (НС) с помощью программы Panalyzer, в которой реализована автоматическая стратегия и тактика обучения, обеспечивающие оптимальное изменение параметров обучения для достижения поставленной цели. При этом НС имела число нейронов 5, число тактов обмена 2, допустимое отклонение 5% и была обучена через 231775 такт. В результате тестирования экспертной системы был сделан вывод, что АМКЛ лучше распознает класс здоровых (89%) по сравнению с 72,2% для НС и хуже распознает класс больных (75%) по сравнению с 81,1% для НС. Учитывая близость результатов и ограниченное число случаев, автор пришел к выводу, что АМКЛ обладает большей универсальностью и простотой использования результирующей математической модели для построения экспертной системы [12].

Создание экспертной системы на основе АМКЛ требует выполнения следующих этапов, показанных на рис. 1.



Рис. 1. Этапы построения экспертной системы на основе АМКЛ

На **первом** этапе накопления и верификации данных следует обратить внимание на следующие обстоятельства:

1. Накопление массивов данных (например, в регистрах по проблемным направлениям здравоохранения) должно сопровождаться тщательной верификацией каждой вносимой записи, что является обычным правилом ведения регистров. Практика показывает, что для этого требуется использование дополнительных методов верификации, например, метод аналитического тестирования [13]. Для отдельных аналитических баз данных верификация должна осуществляться с еще большей тщательностью, поскольку в них значительно меньше число записей, чем в регистрах.

2. Чем больше записей, тем выше точность экспертной системы. Обычно в регистрах здравоохранения накапливается, как правило, много тысяч записей.

3. Построение математической модели с помощью АМКЛ требует тщательного выбора числа факторов. Если в этом у исследователя имеются трудности, то для снижения размерности массива следует применять как саму АМКЛ, так и другие методы анализа (например, факторный анализ). Этап предварительного анализа также позволит определиться исследователю в выборе нужных факторов для анализа.

Для рассматриваемого примера по гестозам база данных выглядит следующим образом (показаны первые строки из 870):

Таблица 1

Исходные данные для построения АМКЛ

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
0	25	165	3	2	3	2	1	1	0	0	0	0	0	210	128	34
0	27	160	3	2	2	2	2	0	0	2	0	1	0	220	121	35,1
1	22	170	3	2	1	2	1	1	0	2	1	0	0	270	125	35,2
0	21	157	3	2	3	2	1	1	0	3	0	0	0	191	107	28,9
0	32	164	3	2	2	2	2	0	0	3	0	1	1	281	130	33
1	33	163	3	2	1	2	2	0	0	0	0	1	0	242	122	31,8
0	29	168	3	2	4	2	1	1	0	0	0	0	0	200	120	32
0	20	167	3	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1	220	130	37,1
0	25	164	3	2	1	2	1	1	0	0	0	1	1	249	142	41,6

где факторы:

- X1** Гестоз при значении 1
(цель)
- X2** Возраст
- X3** Рост
- X4** Профилактика гестоза:
4-рыбьем жиром, 3-аспирином, 2-курантилом, 0,1-без профилактики
- X5** Показатели гемодинамики в МА:
1-норма, 2-нарушения 1ст, 3-нарушения 2ст.
- X6** Группа крови:
1-первая, 2-вторая, 3-третья, 4-четвертая
- X7** Резус фактор: 1-отрицательный, 2-положительный
- X8** Паритет: 1-первородящие, 2-повторнородящие
- X9** Анемия: 0-нет, 1-да
- X10** Индекс массы тела (ИМТ):
0-дефицит массы, 1-норма, 2-избыток массы, 3-ожирение
- X11** Вегето-сосудистая дистания (ВСД):
0-нет, 1-гипер. тип, 2-смешанный тип, 3-гипо тип
- X12** Пиелонефрит: 0-нет, 1-да
- X13** Отягощенный акушерско-гинекологический анамнез: 0-нет, 1-да
- X14** Заболевания передающиеся половым путем: 0-нет, 1-да
- X15** Показатель тромбоцитов в 1 явку пациентки
- X16** Показатель гемоглобина
- X17** Показатель гематокрита

На **втором** этапе осуществляется предварительный анализ с построением графиков изменения каждого фактора от минимального до максимального значения в заданном диапазоне остальных факторов с целью:

- предварительной оценки фактора на пригодность использования его в многофакторном анализе;
- определения максимальной мощности фактора.

Этот анализ можно осуществлять с помощью специализированной программы, а при ее отсутствии с помощью Excel, как это показано на рис. 2-5 для отдельных факторов.

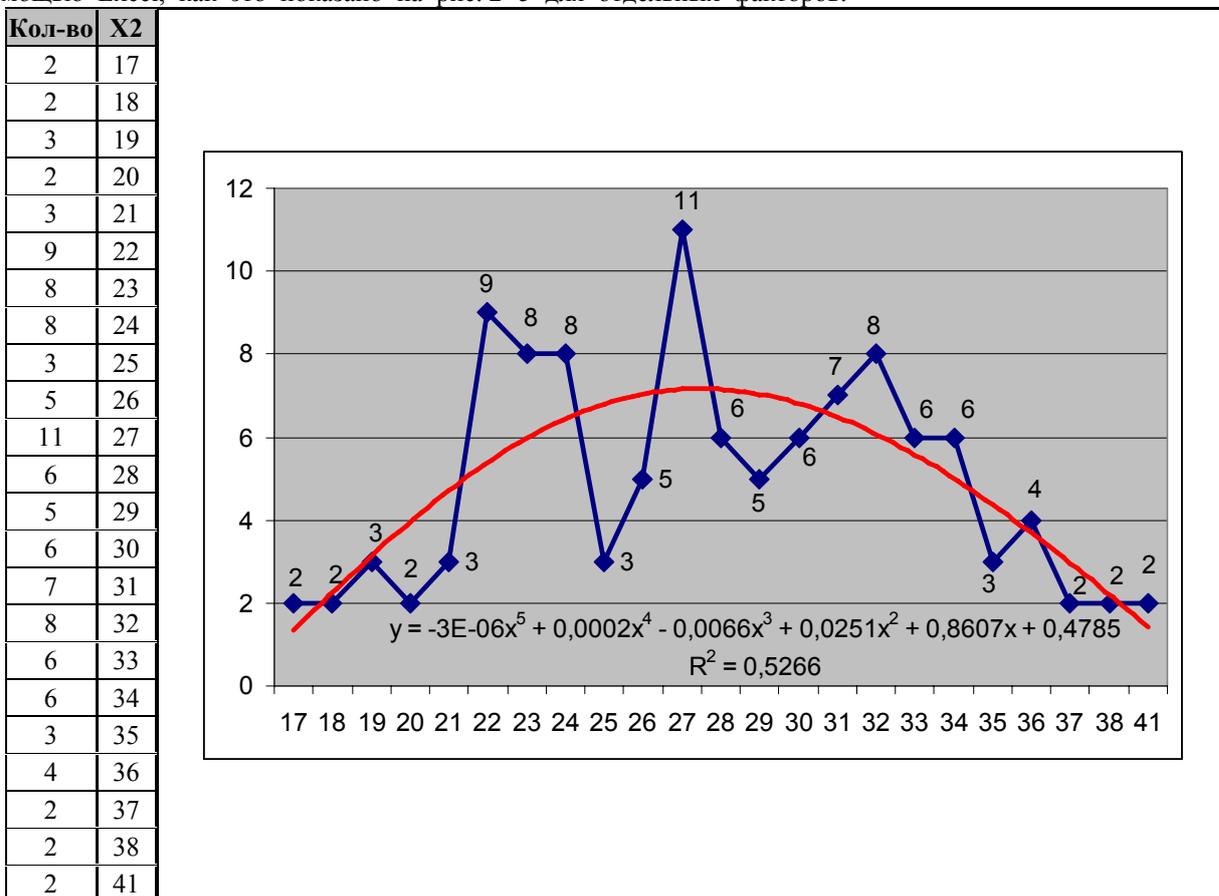


Рис. 2. Характер изменения фактора X2 от минимального до максимального значения

Кол-во	X3
4	152
1	153
3	155
1	156
2	157
2	158
2	159
3	160
1	162
7	163
5	164
22	165
6	166
9	167
9	168
8	169
11	170
2	171
3	172
1	173
2	174
3	175
1	176
1	178
2	180
2	183

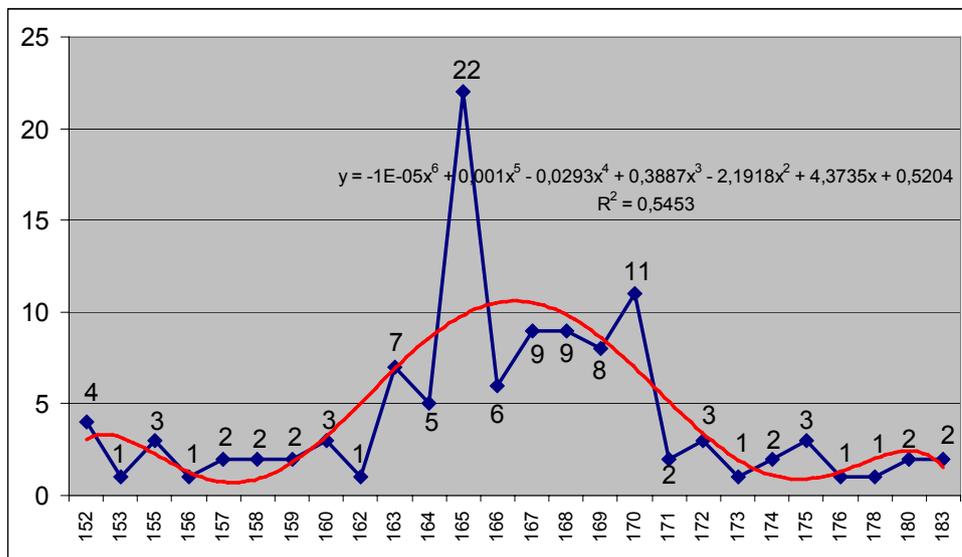


Рис. 3. Характер изменения фактора X3 от минимального до максимального значения

Кол-во	X4
26	0
57	1
10	2
15	3
5	4

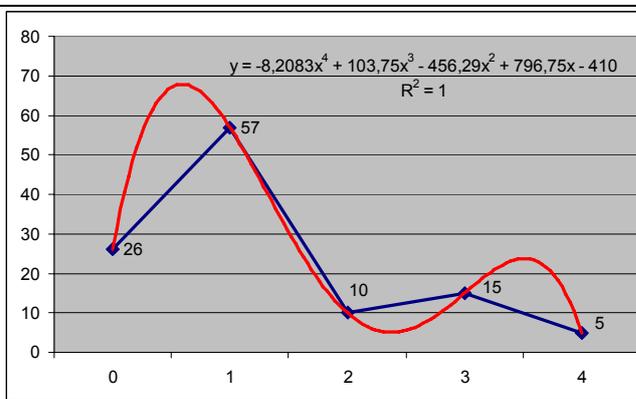


Рис. 4. Характер изменения фактора X4 от минимального до максимального значения

Кол-во	X5
26	1
81	2
6	3

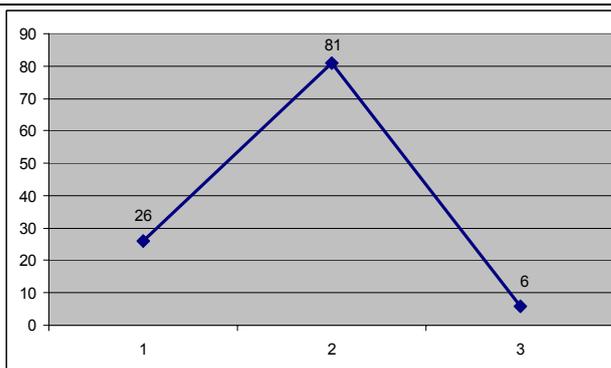


Рис. 5. Характер изменения фактора X5 от минимального до максимального значения

Графики (рис. 2-5) построены для случаев достижения цели, что в рассматриваемом примере соответствует строкам табл. 1 со значением $X_1=1$. Отображаемое количество соответствует числу повторяющихся строк со значением анализируемого фактора.

По построенным графикам определяется максимальное значение каждого фактора, что необходимо в дальнейшем для настройки и проверки работоспособности экспертной системы. Одновременно с этим исследователь имеет возможность оценить максимальное проявление фактора и с помощью специализированной программы **WForma**, с помощью которой можно задавать диапазон значения остальных факторов, а не фиксированное их значение на строке (рис. 6 и 7).

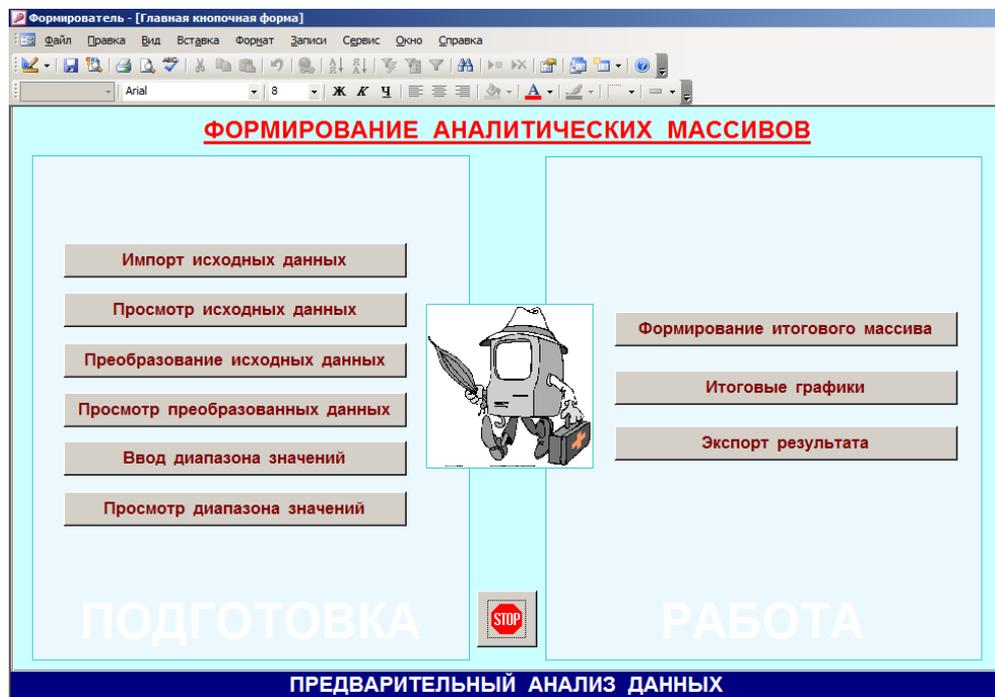


Рис. 6. Внешний вид программы предварительного анализа

Номер переменной	Значения в базе		Диапазон анализа		Выбран для анализа
	минимальное	максимальное	минимум	максимум	
1	0	1			<input type="checkbox"/>
2	0	14			<input type="checkbox"/>
3	-1	90			<input type="checkbox"/>
4	1	10			<input type="checkbox"/>
5	1	5			<input type="checkbox"/>
6	1	2			<input type="checkbox"/>
7	1	2			<input type="checkbox"/>
8	1	9			<input type="checkbox"/>
9	1	3			<input type="checkbox"/>
10	1	12			<input type="checkbox"/>
*					<input type="checkbox"/>

Рис. 7. Режим задания диапазона значений (показан на примере с другими переменными)

На этом этапе исследователь может определиться на основании показанного предварительного анализа в выборе требуемого числа факторов для многофакторного анализа с помощью АМКЛ.

На **третьем** этапе на основе АМКЛ строится нелинейная математическая модель (табл. 2).

Математическая модель по гестозам

Переменная цели: X1

Значение цели: 1 (наличие гестоза)

Маска: отсутствует

Совпало целевых и нецелевых строк: 0.

Результирующие составляющие математической модели
1. W= 57. (0< X4 < 2)
2. W= 6. (307< X15 < 318) & (0< X4 <= 3)
3. W= 4. (280< X15 < 283) & (0< X4 < 3)
4. W= 4. (17<= X2 < 19) & (1< X5 <= 2)
5. W= 4. (139< X16 < 141) & (1< X5 <= 2)
6. W= 3. (34< X2 < 36) & (0< X4 < 4)
7. W= 3. (36< X17 < 36,2) & (1< X5 <= 2)
8. W= 3. (35,1 < X17 < 35,4) & (0< X4 <= 3)
9. W= 2. (182< X3 < 185)
10. W= 2. (164< X3 < 166) & (34< X17 < 34,8) & (1< X5 <= 2)
11. W= 2. (132< X16 < 134) & (1< X5 <= 3)
12. W= 2. (40< X2 <= 41)
13. W= 2. (122< X16 < 124) & (0< X4 <= 4)
14. W= 2. (297< X15 < 301) & (162< X3 < 170)
15. W= 2. (29< X2 < 31) & (2< X4 <= 3)
16. W= 2. (181< X15 < 186) & (0< X4 <= 3)
17. W= 2. (33< X2 < 36) & (2< X4 < 4)
18. W= 2. (34,7< X17 < 34,9) & (0< X4 <= 3)
19. W= 2. (240< X15 < 244) & (119< X16 < 123)
20. W= 2. (32,3< X17 < 32,5) & (0<= X9 < 1)
21. W= 2. (43,6 < X17 < 44)
22. W= 2. (34,2< X17 < 34,6) & (1< X5 <= 2)
23. W= 2. (340< X15 < 346)
24. W= 2. (129< X16 < 131) & (181< X15 < 200)
25. W= 2. (40,2< X17 < 40,4) & (242< X15 < 326)
26. W= 2. (36,9< X17 < 37,3) & (301< X15 < 318)
27. W= 1. (221< X15 < 223) & (0< X4 <= 3)
28. W= 1. (97< X16 < 99)
29. W= 1. (207< X15 < 209) & (163< X3 < 168)
30. W= 1. (302< X15 < 304)
31. W= 1. (33< X17 < 33,2) & (127< X16 < 139)
32. W= 1. (221< X15 < 223) & (1<= X6 < 2)
33. W= 1. (40< X17 < 40,2) & (154< X3 < 170)
34. W= 1. (42,2< X17 < 42,4) & (1< X6 <= 3)
35. W= 1. (181< X15 < 184) & (1< X11 <= 3)
36. W= 1. (33,9< X17 < 36,5) & (209< X15 < 211) & (1<= X6 < 3)
37. W= 1. (40,2 < X17 < 40,4) & (0< X10 <= 2)
38. W= 1. (38,8 < X17 < 39) & (125< X16 < 130)
39. W= 1. (36,5< X17 < 36,7) & (164< X3 < 169)
40. W= 1. (121< X16 < 127) & (25< X2 < 29) & (2< X4 <= 4)
41. W= 1. (250< X15 < 252) & (31,7<= X17 < 36,4)
42. W= 1. (144< X16 <= 146) & (32,7<= X17 < 38,9)
43. W= 1. (299< X15 < 301)
44. W= 1. (231< X15 < 234) & (0< X11 < 3)
45. W= 1. (315< X15 < 317) & (22<= X2 < 35)
46. W= 1. (331< X15 < 333)
47. W= 1. (38,6< X17 < 38,8) & (165< X3 <= 175)
48. W= 1. (151< X16 < 158)
49. W= 1. (127< X16 < 129) & (190< X15 < 196)
50. W= 1. (148< X16 < 150)
51. W= 1. (28,9< X17 < 29,7) & (16< X2 < 33)

Примечание. Алгоритм построения АМКЛ исключил факторы 7, 8, 12, 13, 14.

Построенная математическая модель выполнена на базе алгоритма, изложенного в работах [3, 4] и программного обеспечения [11], учитывающих особенности использования с ограниченным числом случаев [7].

Алгоритм АМКЛ позволяет:

1. Построить модель с минимальным числом результирующих составляющих, дизъюнктивно объединенных между собой.
2. Определить сочетанность факторов (показанных через знак &) и пределы их определения без участия исследователя.
3. Определить мощность каждой результирующей составляющей (W), численно равной числу строк, на которых выполняется условие определения переменных этой результирующей составляющей.
4. Исключить отдельные избыточные факторы (как это имеет место в рассматриваемом примере), без которых математическая модель может быть построена.

Особенности построенной модели:

1. Каждая результирующая составляющая не удовлетворяет случаям (строкам) не достижения цели, в том числе для расчетов с ограниченным числом строк в исходной таблице (реализовано в последней версии программы с учетом особенностей [7]).
2. Построение модели не требует процесса обучения, что имеет место в нейросетевых алгоритмах.
3. Если при построении математической модели будут выявлены совпадающие целевые ($X_i=1$) и нецелевые строки ($X_i=0$), то алгоритм АМКЛ их исключит (но не удалит из базы). В рассматриваемом примере таких строк нет, что создает благоприятные условия для построения экспертной системы.

Для дальнейшего анализа и построения экспертной системы можно выделить главные результирующие составляющие (в рассматриваемом примере 1-4) с помощью методики, изложенной в работе [14]. В рассматриваемом примере используются все результирующие составляющие математической модели.

На **четвертом** этапе осуществляется анализ каждого фактора в полученной математической модели в части его влияния на максимальную суммарную мощность, которая также необходима для построения экспертной системы. При этом суммарная мощность результирующих составляющих не может быть получена простым суммированием мощностей каждой результирующей составляющей. Причиной этому является не перекрывающиеся по пределам определения значения факторов в результирующих составляющих и их разный состав.

Одним из способов решения этой задачи может быть использование полученной математической модели в качестве фильтра, через который необходимо пропустить все случаи (строки таблицы, где цель достигается). Тем самым мы применяем правило максимальной мощности на заданной выборке [12]. Для этого каждой результирующей составляющей последовательно предъявляются случаи и суммируются мощности результирующих составляющих с положительными откликами (соответствующие условию определения факторов результирующей составляющей). Среди полученных результатов по каждому случаю выбирается максимальное.

Для выполнения этой операции, наглядного графического представления влияния каждого фактора на суммарную мощность (необходимого для анализа) и формирования данных для передачи в экспертную систему можно использовать специально разработанную для этого программу **AnAMCL** [5].

Алгоритм анализа влияния факторов на результат заключается в следующем:

1. Выбирают фактор для анализа и задают число дискретов (точек на графике) для изменения выбранного фактора от минимального до максимального значения.
2. Задают значения остальным факторам (например, среднее арифметическое значение или максимальные значения по результатам предварительного анализа).
3. Формируют первый набор факторов, состоящий из минимального значения выбранного фактора и фиксированных значений остальных факторов.
4. Подставляют значения факторов в результирующие составляющие (импликанты) математической модели. Отмечают те результирующие составляющие, где предельные условия соблюдаются.
5. Суммируют мощность отмеченных результирующих составляющих.
6. Прибавляют дискрет к минимальному значению выбранного фактора и повторяют с измененным значением выбранного фактора и фиксированным значением остальных факторов выполняют действия по пп. 4-5 до тех пор, пока значение выбранного фактора достигнет максимального значения.
7. По значениям суммарной мощности, полученным по п.5, строят график изменения суммарной мощности при изменении выбранного фактора от минимального до максимального значения.

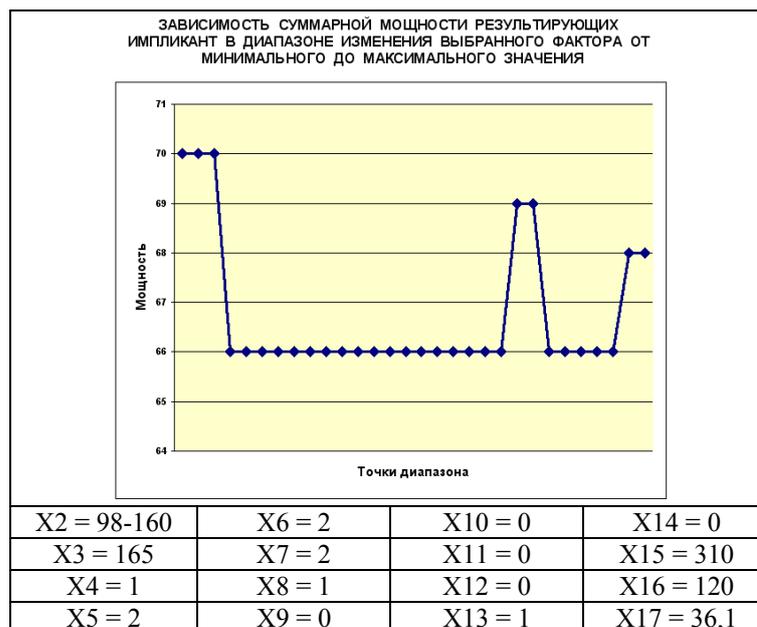


Рис. 8. Влияние фактора X2

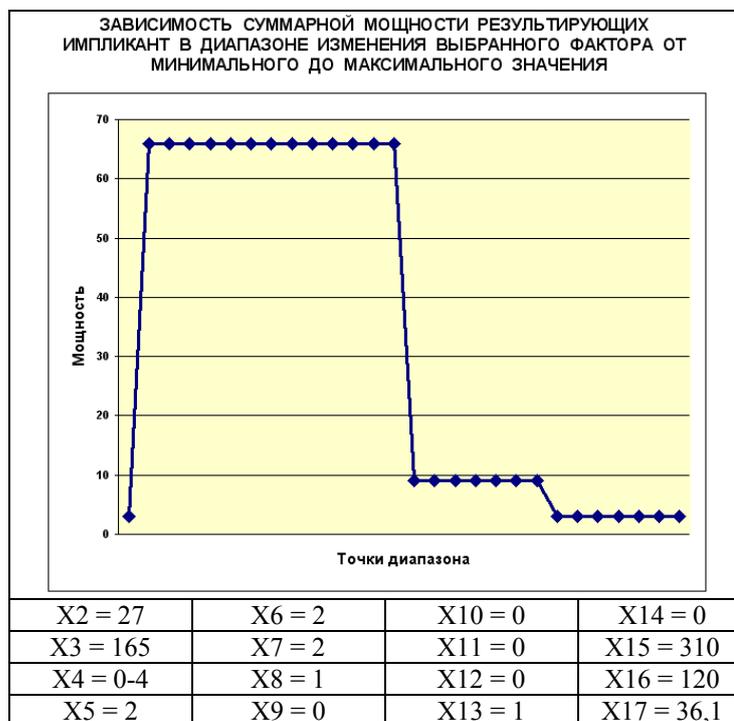


Рис. 9. Влияние фактора X4

На рис. 8 и 9 показан характер изменения факторов X2 и X4 от минимального до максимального значения при заданных значений остальных факторов, близких к максимальным значениям по результатам предварительного анализа.

Исследователь имеет возможность менять значения остальных факторов и оценивать характер изменения графика, выявляя особенности сочетанного влияния факторов на результат.

На **пятом** этапе выгруженные из программы **AnAMCL** данные (результатирующие составляющие в требуемом формате, значения мощностей и максимальная суммарная мощность) загружаются в экспертную программу-оболочку **ExpSyst**, тем самым настраивая ее. Остается пользователю ввести названия факторов в виде вопросов.

Внешний вид программы показан на рис. 10.

В отдельных случаях, когда число строк в исходной таблице ограничено (как это имеет место в рассматриваемом примере), может возникнуть необходимость корректировки максимальной суммарной мощности для исключения получения завышенных результатов, что можно сделать в режиме расчета. Причиной этому может быть ограниченное число случаев, не покрывающих достаточно полно и равно-

мерно весь диапазон каждого фактора. Для этого, пользуясь результатами предварительного расчета (этап 2) и результатами анализа сочетанного влияния факторов (этап 4), можно ввести новое (увеличенное) значение суммарной мощности. При использовании массивов данных регистров по проблемным направлениям здравоохранения эта корректировка не требуется.



Рис. 10. Внешний вид экспертной программы ExpSyst

РЕЗУЛЬТАТ

Вероятность (%): **90,48** для следующих значений:

N	Название фактора	Значение
1	Возраст (в годах)	27,00
2	Рост (в см.)	165,00
3	Профилактика гестоза: 4-рыбьем жиром, 3-аспирином, 2-курантилом, 0, 1-без профилактики	1,00
4	Показатели гемодинамики в МА: 1-норма, 2-нарушения 1ст., 2-нарушения 2ст.	2,00
5	Группа крови: 1-первая, 2-вторая, 3-третья, 4-четвертая	2,00
8	Анемия: 0-нет, 1-да	1,00
9	ИМТ: 0-дефицит массы, 1-норма, 2-избыток массы, 3-ожирение	1,00
10	ВСД: 0-нет, 1-гипер тип, 2-смешанный тип, 3-гипо тип	0,00
14	Показатель тромбоцитов в 1 явку пациентки	220,00
15	Показатель гемоглобина	120,00
16	Показатель гематокрита	34,00

Рис. 11. Результат экспертной оценки

Результат экспертной оценки (рис. 11) рассчитывается программой по предъявленным значениям действовавших факторов (рассматриваемому случаю). Алгоритм программы предусматривает суммирование мощностей тех результирующих составляющих математической модели, для которых предъявленные значения находятся в пределах определения ее факторов. Вероятность наличия гестоза вычисляется делением мощности, полученной в ходе указанного вычисления, на максимально возможную мощность (выраженной в процентах).

Если в построенной математической модели будут совпадающие целевые и нецелевые строки, то тогда значения их факторов предъявленных экспертной системе будут давать ложный положительный отклик отдельных результирующих составляющих математической модели, что будет снижать точность экспертной оценки. При небольшом их количестве по сравнению максимально возможной суммарной мощностью точность экспертной оценки будет ухудшаться незначительно. В рассматриваемом примере совпадающих целевых и нецелевых строк нет.

Другой особенностью построения экспертной системы является наличие достаточного числа нецелевых строк в исходной таблице при построении АМКЛ, что позволяет более полно охватить все случаи сравнения целевых строк с нецелевыми в построении математической модели. Рекомендуется иметь соотношение числа нецелевых строк к целевым строкам равным 2 и более [3, 5]. В рассматриваемом примере это соотношение равно 6,7 раз.

Выводы:

1. Предложенный подход с использованием АМКЛ позволяет анализировать и строить экспертные системы по различным направлениям деятельности.
2. По мере накопления исходных данных улучшается качество экспертной оценки.
3. Разработанный пакет программ облегчает анализ и построение экспертной системы.

Литература

1. *Хромушин, В.А.* Обзор аналитических работ с использованием алгебраической модели конструктивной логики / В.А. Хромушин, А.А. Хадарцев, О.В. Хромушин, Т.В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.– Тула: Тульский государственный университет, 2011.– N 1 (публ. N 3–2, <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2011-1/LitObz.pdf>).
2. *Хромушин, В.А.* Использование алгебраической модели конструктивной логики при построении экспертных систем / В.А. Хромушин, В.В. Махалкина // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: ТулГУ, 2009.– N 3.– С.40–41.
3. *Щеглов, В.Н.* Алгебраические модели конструктивной логики для управления и оптимизации химико–технологических систем / В.Н. Щеглов // Автореферат кандидата технических наук.–Л.: Технологический институт им. Ленсовета.– 1983.– 20с.
4. *Щеглов, В.Н.* Интеллектуальная система на базе алгоритма построения алгебраических моделей конструктивной (интуиционистской) логики / В.Н. Щеглов, В.А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: НИИ новых медицинских технологий.– 1999.– N 2.– С.131–132.
5. *Хромушин, В.А.* Алгоритмы и анализ медицинских данных / В.А. Хромушин, А.А. Хадарцев, В.Ф. Бучель, О.В. Хромушин // Учебное пособие.– Тула: Изд-во «Тульский полиграфист», 2010.– 123 с.
6. *Хромушин, В.А.* Анализ инвалидности населения Тульской области // В.А. Хромушин, К.Ю. Китанина // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.– Тула: Тульский государственный университет, 2012.– N 1 (публ. N1–1) <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2012-1/3717.pdf>
7. *Хромушин, В.А.* Особенности использования алгебраических моделей конструктивной логики в биофизике и биологии / В.А. Хромушин, В.Ф. Бучель, В.А. Жеребцова, Т.В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: НИИ новых медицинских технологий, 2008.– N 4.– Т.XV.– С.174–175.
8. *Хромушин, В.А.* Алгоритм «склеивания» точечных составляющих при построении алгебраической модели конструктивной логики / В.А. Хромушин, О.В. Хромушин, В.Ф. Бучель // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.– Тула: ТулГУ, 2012.– N 1.– публ. 1–3.– <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2012-1/4078.pdf>
9. *Хромушин, В.А.* Упрощенный вариант алгебраической модели конструктивной логики / В.А. Хромушин, Е.И. Минаков, В.А. Бархоткин, О.В. Хромушин, В.Ф. Бучель // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: ТулГУ, 2012.– N 1.– С.44–47.
10. *Хромушин, В.А.* Нечеткая алгебраическая модель конструктивной логики / В.А. Хромушин, Е.И. Минаков, В.А. Бархоткин, С.Н. Гонтарев // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: ТулГУ, 2012.– N 1.– С.36–38.
11. *Хромушин, В.А.* Программа построения алгебраических моделей конструктивной логики в биофизике, биологии и медицине/ В.А. Хромушин, В.Ф. Бучель, В.А. Жеребцова, Т.В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: НИИ новых медицинских технологий, 2008.– N 4.– Т.XV.– С.173–174.
12. *Махалкина В.В.* Обработка слабоструктурированной информации при построении базы знаний экспертной системы микроэлементных нарушений у человека / В.В. Махалкина // Автореферат кандидата биологических наук.- Тула: ТулГУ, 2009.- 23 с.
13. *Хромушин, В.А.* Метод аналитического тестирования в верификации данных медицинских регистров / В.А. Хромушин, К.А. Хадарцева, И.Ю. Копырин, О.В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: ТулГУ, 2011.– N 4.– С.252–253.
14. *Хромушин, В.А.* Обобщенная оценка результирующей алгебраической модели конструктивной логики / В.А. Хромушин, В.В. Махалкина // Вестник новых медицинских технологий.– Тула: ТулГУ, 2009.– N 3.– С.39–40.