

მაია მიქელაძე

თავის ტკივილის სინდრომზე დაფუძნებული ექიმის
გადაწყვეტილების მხარდამჭერი ექსპერტული სისტემა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
იანვარი, 2009

საავტორო უფლება © მიქელაძე მაია, 2009

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მაია მიქელაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “თავის ტკივილის სინდრომზე დაფუძნებული ექიმის გადაწყვეტილების მხარდამჭერი ექსპერტული სისტემა” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, აკად. ვ.ჭავჭავაძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2009

ავტორი: მიქელაძე მაია
დასახელება: თავის ტკივილის სინდრომზე დაფუძნებული
ექიმის გადაწყვეტილების მხარდამჭერი
ექსპერტული სისტემა
ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების
ხარისხი: დოქტორის აკადემიური ხარისხი
სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

როგორც მრავალფაქტორული სისტემის მდგომარეობის დიაგნოსტიკა ერთ-ერთ ყველაზე აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს ადამიანის ინტელექტუალური საქმიანობის ნებისმიერ სფეროში – მედიცინაში, ეკონომიკაში, ეკოლოგიაში და ა.შ.

სამედიცინო დიაგნოსტიკის სფეროში ძირითადი პრობლემაა პაციენტის მდგომარეობის აღმწერი მონაცემების არამკაფიოება, უზუსტობა, არასრულყოფილება და სუბიექტურობა. ამას ემატება თვით სამედიცინო ცოდნის არაკატეგორიულობაც. ამის მიუხედავად, მაღალკვალიფიციურ ექიმს შესწევს უნარი დასვას ზუსტი დიაგნოზი, რაშიც მას ცოდნის გარდა, წლების განმავლობაში დაგროვილი გამოცდილება და ინტუიცია ეხმარება.

დიაგნოსტიკის ამოცანის სირთულის დაძლევა მაღალკვალიფიციური ექიმ-ექსპერტების მხოლოდ გარკვეულ ნაწილს შეუძლია. ასევე, ექსპერტული ცოდნის – განსაკუთრებით იმ არაფორმალური ნაწილისა, რომელიც ექსპერტის გამოცდილებასა და ინტუიციას ეფუძნება – სხვა სპეციალისტებზე სწრაფი გადაცემის შესაძლებლობა თითქმის არ არსებობს. აქედან გამომდინარე, აქტუალური გახდა ცოდნის ამოღების და წარმოდგენის მოდელებისა და მეთოდების შემუშავება და შემდგომ მათ საფუძველზე ექსპერტული სისტემების აგება, რომლებსაც ძალუძს ექსპერტის შეცვლა პაციენტის მდგომარეობის დიაგნოსტიკისას.

თავის ტკივილებს შორის გავრცელებულობის მიხედვით წამყვანი ადგილი იდუპათურ თავის ტკივილებს უკავია. თავის მხრივ, იდუპათურ თავის ტკივილებს შორის ყველაზე მეტად დაძაბულობის ტიპის თავის ტკივილი (70%) და შაკიკია (30%) გავრცელებული.

დაძაბულობის ტიპის თავის ტკივილის და შაკიკის გავრცელების ფართო მასშტაბის მიუხედავად, თავის ტკივილის ზუსტი დიაგნოსტიკა მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს, რადგან ორივე ტიპის თავის ტკივილის დროს საერთო სამედიცინო და ნევროლოგიური გამოკვლევისას კონკრეტული პათოლოგიური სიმპტომების აღმოჩენა დიდი იშვიათობაა. უშუალოდ თავის ტკივილის გაზომვის ან შეფასების ობიექტური მეთოდები არ არსებობს. ექიმი იძულებულია დაეყრდნოს პაციენტის მიერ მოცემული ჩივილების აღწერას. ეს აღწერა ხასიათდება სუბიექტურობის მაღალი დონით, რაც აიხსნება ამ ტიპის თავის ტკივილების სპეციფიკით: პაციენტს ხშირად აქვს ორივე ტიპის თავის ტკივილის შეტევები, ან პაციენტს, როგორც წესი, ახასიათებს სხვადასხვა დარღვევები ემოციონალურ სფეროში.

თავის ტკივილის ამ ორი ტიპის დიაგნოსტიკას ისიც ართულებს, რომ დაძაბულობის ტიპის თავის ტკივილს და შაკიკს ახასიათებს დაავადების გამოვლინების მსგავსი სურათები და სპეციფიური სიმპტომები. ხშირად ექიმს უხდება ისეთ არასპეციფიურ, მეორეხარისხოვან ფაქტორებზე დაყრდნობა, რომლებსაც დამხმარე მნიშვნელობა აქვთ და ემსახურებიან დიაგნოზის დაზუსტებას დიაგნოსტიკურად უფრო მნიშვნელოვან ფაქტორებთან შეჯერებისას. აქ უკვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ექიმის გამოცდილებულ და ინტუიციით მიღებულ ცოდნას, რომელიც ძნელად ემორჩილება

ვერბალიზაციასა და ფორმალიზაციას და ექსპერტული ცოდნის ამოღებისას ძირითად სირთულეს წარმოადგენს.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მიზანია ცოდნის ამოღების ისეთი მეთოდის შემუშავება, რომელიც ექსპერტის ინტუიციური ცოდნის ამოღების პროცესის ავტომატიზაციასა და ამ ცოდნის შემდგომი ფორმალიზაციის საშუალებას მოგვცემს. ამ მიზნის მისაღწევად დაისვა და გადაწყვეტილ იქნა შემდეგი ამოცანები:

- მდგომარეობათა აღწერის და მონაცემთა წარმოდგენის მეთოდების შემუშავება კონცეპტუალური მიდგომის საფუძველზე;
- მონაცემთა უნიფიკაციის მეთოდის შემუშავება, რომელიც საშუალებას იძლევა ნიშან-თვისებათა მრავალგვარობა ინფორმაციის დაკარგვის გარეშე დაყვანილი იქნას ერთგვარობამდე;
- ცოდნის ამოღების მეთოდის შემუშავება, რომელიც ექიმ-ექსპერტის ძნელადფორმალიზებადი ინტუიციური ცოდნისა და სიმპტომებისა და დიაგნოსტიკური წესების სიმრავლეებზე ამ ექსპერტის პრეფერენციების გამოვლენის საშუალებას იძლევა.

ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე აგებულ იქნა თავის ტკივილის სინდრომზე დაფუძნებული ექიმის გადაწყვეტილების მხარდამჭერი ექსპერტული სისტემა. **HEADACHE** ექსპერტული სისტემა ახორციელებს ორი – დაძაბულობის ტიპის თავის ტკივილის და შაკიკის დიფერენციალურ დიაგნოსტიკას. ამასთან **HEADACHE** ექსპერტული სისტემის თითოეულ გადაწყვეტილებას თან ერთვის დიაგნოზის სისწორეში დამაჯერებლობის ხარისხი. საბოლოო გადაწყვეტილებას იღებს ექიმი იღებს.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისა და ოთხი თავისგან.

შესავალში განხილულია თავის ტკივილების დიაგნოსტიკის ამოცანა და დასაბუთებულია ცოდნის ამოღების ისეთი მეთოდის შემუშავების აქტუალობა, რომელიც განკუთვნილია ექსპერტის ინტუიციური ცოდნის ამოღების ავტომატიზაციასა და ამ ცოდნის შემდგომი ფორმალიზაციისთვის. აგრეთვე აღწერილია ნაშრომის ძირითადი მიზანი, ამოცანები, მათი ამოხსნის მეთოდები და მიღებული შედეგები.

პირველ თავში განხილულია რთული სისტემები, როგორც ხელოვნური ინტელექტის კვლევის საგანი და მოყვანილია ძირითადი ინტელექტუალური ამოცანები, რომლებიც წარმოიქმნება რთულ სისტემათა ანალიზის დროს და რომელთაგან ერთ-ერთია რთული სისტემის მდგომარეობის დიაგნოსტიკა. დასაბუთებულია რთული მრავალფაქტორული სისტემის მდგომარეობის დიაგნოსტიკისთვის განკუთვნილი ექსპერტული სისტემების შემუშავების აქტუალობა და განხილულია მათი აგების თავისებურებანი. მიმოხილულია მონაცემთა წარმოდგენის და ცოდნის ამოღებისა და წარმოდგენის ძირითადი მეთოდები. დასაბუთებულია მდგომარეობათა აღწერის და ცოდნის წარმოდგენის კონცეპტუალური მიდგომის გამოყენება ექსპერტის ცოდნის გამოვლენის და ფორმალიზების პრობლემის გადასაწყვეტად როგორც პროცედურისა, რომელიც ახორციელებს ბუნებრივი ინტელექტის მიერ ცნებათა ფორმირების პროცესის იმიტაციას.

მეორე თავი ეხება ცოდნის ამოღების კონცეპტუალურ მეთოდებს. ანალიტიკური ევრისტიკების მეთოდის და ცნების ფორმირების

ანალიტიკური ფილტრაციული მეთოდის საფუძველზე შემუშავებულია მონაცემთა დამუშავების ალბათურ-კონცეპტუალური მეთოდი, რომელიც ექიმ-ექსპერტის ძნელადფორმალიზებადი ინტუიციური ცოდნის და სიმპტომების და დიაგნოსტიკური წესების სიმრავლეებზე ამ ექსპერტის პრეფერენციების გამოვლენის და მათი პროდუქციული წესების სახით წარმოდგენის საშუალებას იძლევა.

პაციენტის მდგომარეობის აღწერისას წარმოიქმნება შემდეგი ამოცანა: როგორ დავიყვანოთ ნიშან-თვისებათა მრავალგვარობა ერთგვარობამდე ინფორმაციის დაკარგვის გარეშე. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად შემუშავებულია ფაქტორების უნიფიკაციის ალგორითმი.

მესამე თავში მოყვანილია ექსპერტული დიაგნოსტიკური სისტემის ინტერფეისის და მისი მუშაობის პრინციპების აღწერა და წარმოდგენილია მონაცემთა უნიფიკაციის და დიაგნოსტიკური წესების ფორმირების ძირითადი ალგორითმები.

მეოთხე თავში აღწერილია თავის ტკივილის სინდრომი, მოცემულია კლინიკური მასალის აღწერა და ჩატარებულია ექსპერტული სისტემის მიერ მიღებული დიაგნოსტიკური გადაწყვეტილებების ანალიზი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ შემოთავაზებული მონაცემთა დამუშავების ალბათურ-კონცეპტუალური მეთოდი ნამდვილად გამოდგება ექსპერტული ცოდნის ამოღების პროცესის ავტომატიზირებისთვის, ხოლო მის საფუძველზე აგებული **HEADACHE** ექსპერტული სისტემა დიდწილად უზრუნველყოფს სწორი დიაგნოზის დასმას.

Abstract

The diagnostics of the state of the complex multifactor system is one of the most topical problems in the human's intellectual activity. That refers to every sphere of the human's activity, such as medicine, economics, ecology, etc.

The cardinal problem in the sphere of medical diagnostics is carelessness, inaccuracy, and sometimes incompleteness and subjectivity of data concerning the state of the patient, as well as the non-rigidity of medical knowledge that, however, doesn't prevent a high qualified physician from correct diagnostics. Besides knowledge, experience and intuition gained during practice help him. The complexity of the problem diagnostics, with which can cope only a scanty number of high qualified physicians-experts, as well as the failure to promptly transfer expert knowledge to other specialists, especially its unformalized part, which being the result of the expert's experience and intuition, made relevant the development of models and methods for getting and presenting knowledge aimed at the creation of expert systems capable of expert's changing in the process of diagnostics of the patient's state.

The leading place among different kind of headaches takes idiopathic headaches, i.e. when a headache is not connected with any damage or trauma of the organism and is the kernel of the disease. In its turn, a tenseness headache (70%) and a migraine (30%) are the most widespread among headaches.

In spite of the wide spread occurrence of the tenseness headache and the migraine the correct diagnostics of the headache remains an important problem, since under such disorders the presence of concrete pathological symptoms during general medical and neurological checkups is rather an exception than a rule. Practically there are no any objective methods for measuring or estimating directly a headache – a physician is forced to be guided by the patient's description of his state, which might be confused enough especially when tenseness headache. It is stipulated by the specificity of that type of headache as well as by the fact that patients either at the same time suffer from migraine or they have revealed different emotional disorders, which somehow distort their information about the state of their health.

The diagnostics of such two types of headache is complicated by the fact that the tenseness headache and the migraine are characterized by similar clinical presentation and specific symptoms of the disease. A physician often has to base on nonspecific, secondary factors having an additional meaning and serving for defining more exactly the headache diagnosis when their comparing with more important diagnostic factors.

The intuition and the experience, in addition to the knowledge gained during the long-term practice, help him. Just such knowledge consisting in the intuition and the experience of the physician, which is badly amenable to the verbalization, is the basic problem of the knowledge engineering when getting the expert knowledge.

The main purpose of that thesis is the development of the cognition method destined for the automation of the process of gaining and subsequent formalization of the expert's subconscious knowledge.

Following problems were solved for such goal achievement:

- The development of the method describing the states and presenting the data on the basis of the conceptual approach;
- The development of the method of the knowledge unification allowing to reduce all the variety of features to one type without the loss of information;

- The development of the cognition method allowing to reveal the difficultly formalized subconscious knowledge and preferences of the physician-expert on the set of symptoms and on the set of diagnostic rules and to reflect them as productional rules.

On the basis of the carried out work was made the **HEADACHE** expert system for supporting the physician's decisions made by the syndrome "Headache", which carries out a differential diagnostics of two types of headaches - the tenseness headache and the migraine accompanying its decision by the degree of assurance in the diagnosis. The conclusive decision takes the physician.

The thesis consists of the introduction and four chapters.

The problem of headaches diagnostics and the topicality of the development of the cognition method destined for the automation of the process of gaining and subsequent formalizing the expert's subconscious knowledge are considered in the introduction. Main goals and objectives of the work, the methods of their solution and the obtained results are also given.

In the first chapter complex systems as a subject of investigation of the artificial intelligence are considered, and basic intellectual problems arising when analyzing complex systems, one of which is the problem of diagnostics of the state of the complex system, are given. The topicality of the development is proved, and the peculiarities of the expert systems construction for the diagnostics of the state of the complex multifactor system are considered. The review of the basic methods for presenting data and knowledge as well as cognition is given. The application of the conceptual approach to the description of the states and the presentation of the knowledge as a procedure imitating the process of the notions forming by the natural intelligence is proved as a problem solution for showing up and formalization of the expert's knowledge.

The second chapter is dedicated to the conceptual cognition methods. On the basis of the method of the analytical heuristics and the analytical filtration procedure for the notions forming is worked out the conceptually probabilistic method for the data processing allowing to reveal difficultly formalized subconscious knowledge and preferences of the physician-expert on the set of symptoms and on the set of diagnostic rules, and to reflect them as productional rules.

When describing the state of the patient there arises a problem: how to reduce all the variety of features describing the state of the patient to one type not losing the information, which at the same time would have allowed to use a conceptual approach to the description of the state of the system. The algorithm of the factors unification allowing to reduce all the variety of exact and vague hierarchical features to one type without the loss of information is offered for that problem solution.

In the third part the description of the interface of the expert diagnostic system and the principles of its functioning is given, and basic algorithms for the diagnostic rules forming and data unification is considered.

In the fourth chapter the characteristic of the "Headache" syndrome is given, the complexity of its diagnostics is considered, and the description of the clinical material is given. There also is carried out the analysis of the expert system functioning, which has shown that the proposed conceptually probabilistic method of data processing really enables the automation of the process for getting expert knowledge, and the **HEADACHE** expert system constructed on its basis to a considerable degree provides with correct diagnostics.

Содержание

Введение.	13
1. Методы и стратегии ИИ при решении проблем диагностики сложных систем.	17
1.1. Сложные системы как предмет исследования искусственного интеллекта.	17
1.2. Проблемы медицинской диагностики.	21
1.3. Экспертные системы и их возможности. Особенности построения экспертной системы.	23
1.3. Проблемы представления и приобретения знаний.	27
1.4. Концептуальный подход к описанию состояний и представлению знаний. Аналитическое решение задачи формирования понятий.	43
Выводы по главе 1.	53
2. Концептуально-вероятностный метод обработки данных.	55
2.1. Создание и исследование признакововой системы.	55
2.2. Алгоритм унификации факторов.	59
2.3. Свойство существенности и свойство дифференциации диагностических критериев.	64
2.4. Концептуально-вероятностный метод обработки данных. Построение базы знаний – "концепта" заболевания.	69
2.5. Постановка диагноза по концепту. Обновление базы знаний.	77
Выводы по главе 2.	79
3. Инженерные аспекты реализации экспертной системы.	80
3.1. Структура и сценарии работы системы.	80
3.2. Алгоритм унификации факторов.	85
3.3. Алгоритм формирования диагностических правил.	87
3.4. Описание интерфейса экспертной системы HEADACHE.	90
Выводы по главе 3.	102
4. Экспериментальная проверка основных положений диссертационной работы.	103
4.1. Головные боли. Характеристика заболевания и сложности его диагностики.	103
4.2. Описание клинического материала.	123
4.3. Результаты обработки клинического материала и анализ функционирования экспертной системы.	138
Выводы по главе 4.	139

5. Заключение	141
Литература.....	142
Приложение.....	146

Список рисунков.

Рис. 1. Структура экспертной системы.....	1
Рис. 2. Фрагмент семантической сети.....	1
Рис. 3. Структура фрейма.....	36
Рис. 4. Дерево понятий иерархического признака.....	1
Рис. 5. Общая структура экспертной системы HEADACHE	1
Рис. 6. Функционирование системы в режиме приобретения знаний.....	1
Рис. 7. Алгоритм работы категории пользователей "Эксперт".	1
Рис. 8. Функционирование системы в режиме решения задачи диагностики	1
Рис. 9. Алгоритм работы категории пользователей "Врач-невропатолог".	1
Рис. 10. Алгоритм работы категории "Пользователь-неспециалист".....	1
Рис. 11. Алгоритм унификации факторов для иерархического признака, представленного ИЛИ-деревом.	1
Рис. 12. Алгоритм унификации факторов для иерархического признака, представленного И-деревом.....	1
Рис. 13. Алгоритм унификации факторов для лингвистического признака, значения которого представлены нечеткими множествами.	1
Рис. 14. Вычисление свойств существенности и дифференциации параметров $\psi_i, \bar{\psi}_i$	1
Рис. 15. Выбор существенных параметров $\psi_i, \bar{\psi}_i$	1
Рис. 16. Формирование "рулетки".	1
Рис. 17. Розыгрыш существенных сочетаний.	1
Рис. 18. Формирование концепта.	1
Рис. 19. Главное меню экспертной системы HEADACHE	1
Рис. 20. Электронная анкета Patient	1
Рис. 21. Возможные значения признаков.	1
Рис. 22. Структура базы данных.....	1
Рис. 23. Данные, полученные в результате применения алгоритма унификации.	1
Рис. 24. Таблица NBT , предназначенная для хранения функций принадлежности термов типа "не более чем T_i " лингвистического признака "Продолжительность приступа головной боли".	1
Рис. 25. Таблица NMT , предназначенная для хранения функций принадлежности термов типа "не менее чем T_i " лингвистического признака "Продолжительность приступа головной боли"	1

Рис. 26. Диалоговое окно "Диагностика головной боли".	1
Рис. 27. Выбор типа головной боли и порога существенности для формируемого концепта.	1
Рис. 28. Диалоговое окно "СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ"	1
Рис. 29. Запрос системы-советчика о наличии текущего симптома.	1
Рис. 30. Диагноз, поставленный системой-советчиком.	1
Рис. 31. Два возможных диагностических решения, принятые системой-советчиком для одного и того же пациента.	1
Рис. 32. Окончательный результат диагностирования по всем частным концептам текущей базы знаний.	1
Рис. 33. Сообщение системы-советчика в том случае, когда состояние пациента не удовлетворяет ни одному частному концепту из текущей базы знаний.	1
Рис. 34. Дерево понятий признака "Локализация головной боли (сторона)"	1
Рис. 35. Общий вид функций принадлежности основных термов признака "Продолжительность приступа головной боли".	1
Рис. 36. Общий вид функций принадлежности производных термов "не менее чем T_i " признака "Продолжительность приступа головной боли"	1
Рис. 37. Общий вид функций принадлежности производных термов "не более чем T_j " признака "Продолжительность приступа головной боли"	1
Рис. 38. Дерево понятий признака "Длительность сна"	1
Рис. 39. Дерево понятий признака "Сон в светлый период "	1
Рис. 40. Дерево понятий признака "Сон в период головной боли"	1
Рис. 41. Дерево понятий признака "Стресс"	1
Рис. 42. Дерево понятий признака "Наследственность"	1

Введение.

Диагностика состояния сложной многофакторной системы – это одна из наиболее актуальных задач в интеллектуальной деятельности человека. Это относится ко всем сферам человеческой деятельности, будь то медицина, экономика, экология и т.д.

Основной проблемой в сфере медицинской диагностики является нечеткость, неточность и, зачастую, неполнота и субъективность данных о состоянии пациента, а также некатегоричность собственно медицинских знаний, что, однако, не мешает высококвалифицированному врачу ставить точный диагноз. Кроме знаний, в этом ему помогают интуиция и опыт, наработанные за годы практики. Сложность задачи диагностики, с которой может справиться лишь ограниченное количество высококвалифицированных врачей-экспертов, а также невозможность быстрой передачи другим специалистам экспертных знаний, особенно той неформализованной части, которая является результатом опыта и интуиции эксперта, сделала актуальным разработку моделей и методов извлечения и представления знаний с целью создания экспертных систем, могущих заменить эксперта в процессе диагностики состояния пациента.

Головная боль – одна из самых распространенных жалоб, с которой приходится сталкиваться в повседневной практике врачам любой специальности. При этом головная боль может быть ведущей, а иногда и единственной жалобой более чем при 45 различных заболеваниях. Причины головных болей весьма разнообразны, но они делятся на две группы: симптоматические и идиопатические. Симптоматические головные боли неразрывно связаны с каким-либо поражением и травмой организма и является одним из симптомов соответствующей патологии. В случае идиопатических головных болей головная боль составляет не только симптом, но и сущность заболевания.

Среди головных болей ведущее место по распространенности занимают идиопатические головные боли. В свою очередь, среди идиопатических головных болей наиболее распространенными являются головная боль напряжения (70%) и мигрень (30%). Хроническая пароксизмальная гемикрания встречается в 0,3-0,5%, а кластерная цефалгия – всего лишь в 0,08% популяции.

Несмотря на широкое распространение головной боли напряжения и мигрени, правильная диагностика головной боли остается значительной проблемой, т.к. при этих расстройствах наличие конкретных патологических симптомов при общемедицинском и неврологическом обследовании скорее исключение, чем правило. Каких-либо объективных методов измерения или оценки непосредственно головной боли практически не существует – врач вынужден опираться на данное пациентом описание своего состояния, которое может быть достаточно путанным, особенно при головной боли напряжения. Это обусловлено как спецификой этого типа головной боли, так и тем, что пациенты либо параллельно страдают мигренью, либо у них, как правило, выявляются различные эмоциональные нарушения, которые в определенной мере искажают передаваемую пациентом информацию о его состоянии.

Диагностика этих двух типов головной боли осложняется и тем, что головная боль напряжения и мигрень характеризуются схожими картинками проявления заболевания и схожими специфичными симптомами. Зачастую врачу приходится опираться на неспецифические, второстепенные факторы, имеющие вспомогательное значение и служащие для уточнения диагноза головной боли при сопоставлении их с диагностически более значимыми факторами.

Кроме знаний, в этом ему помогают интуиция и опыт, наработанные за годы практики. Именно извлечение этого знания, заключенного в интуиции и опыте врача и мало поддающегося вербализации и формализации, является основной проблемой инженерии знаний при извлечении экспертных знаний.

Основной целью диссертационной работы является разработка метода приобретения знаний, предназначенного для автоматизации процесса извлечения и последующей формализации интуитивных знаний эксперта. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- разработка метода описания состояний и представления данных на основе концептуального подхода;
- разработка метода унификации данных, позволяющего свести все разнообразие признаков к одному виду без потери информации;
- разработка метода извлечения знаний, позволяющего выявить трудноформализуемые интуитивные знания и предпочтения врача-

эксперта на множестве симптомов и множестве диагностических правил и отобразить их в виде правил продукции.

На основе проделанной работы была построена экспертная система **HEADACHE** по поддержке решений врача по синдрому "Головная боль", которая осуществляет дифференциальную диагностику двух типов головных болей – головной боли напряжения и мигрени, сопровождая свое решение степенью уверенности в диагнозе. Окончательное решение остается за врачом.

Диссертационная работа состоит из введения и четырех глав.

В первой главе рассмотрены сложные системы как предмет исследования искусственного интеллекта и приведены основные интеллектуальные задачи, возникающие при анализе сложных систем, одной из которых является задача диагностики состояния сложной системы. Обоснована актуальность разработки и рассмотрены особенности построения экспертных систем для диагностики состояния сложной многофакторной системы. Дан обзор основных методов представления данных и знаний и приобретения знаний. В качестве решения проблемы выявления и формализации знаний эксперта обосновано применение концептуального подхода к описанию состояний и представлению знаний как процедуры, имитирующей процесс формирования понятий естественным интеллектом.

Вторая глава посвящена концептуальным методам извлечения знаний. На основе метода аналитических эвристик и аналитического фильтрационного метода формирования понятий предложен концептуально-вероятностный метод обработки данных, позволяющий выявить трудноформализуемые интуитивные знания и предпочтения врача-эксперта на множестве симптомов и множестве диагностических правил и отобразить их в виде правил продукции. В этой главе также рассмотрены процессы постановки диагноза по "концепту", получаемому в результате концептуально-вероятностной обработки данных, а также процессы обновления базы знаний и базы данных.

При описании состояния пациента встает задача: как все разнообразие признаков, описывающих состояние пациента, свести к одному виду без потери информации, который к тому же позволил бы применить концептуальный подход к описанию состояния системы. Для решения этой задачи предлагается алгоритм унификации факторов, который на основе зависимости между присутствием (отсутствием) понятия и его обобщения, а также степени

включения одного нечеткого множества в другое позволяет свести все разнообразие четких и нечетких иерархических признаков к одному виду без потери информации.

В третьей главе приведено описание интерфейса экспертной диагностической системы и принципов ее работы, а также основные алгоритмы унификации данных и формирования диагностических правил.

В четвертой главе дана характеристика синдрома "Головная боль", приведено описание клинического материала и проведен анализ функционирования системы на основе результатов обработки клинического материала.

1. Методы и стратегии ИИ при решении проблем диагностики сложных систем.

1.1. Сложные системы как предмет исследования искусственного интеллекта.

Общее определение системы можно дать следующим образом. Система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как единое целое для достижения определенной объективной и субъективной цели [1].

Согласно этому определению, под системой можно понимать не только тот или иной технический агрегат, но и любую совокупность взаимодействующих объектов (или субъектов) в любой сфере человеческой деятельности: в экономике, медицине, экологии, политике и т.д. Любой достаточно сложный процесс, обусловленный функционированием совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих объектов и субъектов, можно рассматривать как функционирование некоторой системы. И тогда анализ, прогнозирование и управление таким процессом сводится к исследованию поведения соответствующей системы.

Исходя из все возрастающей сложности и непредсказуемости процессов, протекающих во всех сферах человеческой деятельности, проблема исследования, прогнозирования и управления поведением систем в течение многих десятилетий не теряет актуальности для представителей различных направлений науки. Одним из таких направлений является искусственный интеллект [1, 2, 3, 4].

На сегодняшний день не существует единого определения, которое описывало бы эту научную область. Среди многих точек зрения на нее доминируют три [1, 2, 3].

Согласно первой, исследования в области искусственного интеллекта являются фундаментальными исследованиями, в рамках которых разрабатываются модели и методы решения задач, считавшихся интеллектуальными и не поддававшихся ранее формализации и автоматизации.

Согласно второй точке зрения это направление связано с разработкой принципиально новой технологии программирования с переходом к компьютерам не фон-неймановской архитектуры.

Согласно третьей точке зрения, искусственный интеллект представляет собой экспериментальную научную дисциплину, при этом основная роль эксперимента заключается в проверке и уточнении систем искусственного интеллекта, представляющих собой аппаратно-программные информационные комплексы.

Так или иначе основной задачей искусственного интеллекта является имитация разумных рассуждений и действий человека посредством искусственных устройств.

Вскоре после признания искусственного интеллекта самостоятельной отраслью науки произошло разделение на два основных направления: нейрокибернетику и кибернетику "черного ящика". В настоящее время заметны тенденции к объединению этих частей в единое целое.

Основную идею нейрокибернетики можно сформулировать следующим образом. Единственный объект, способный мыслить, – это человеческий мозг, являющийся системой большого количества взаимосвязанных нейронов. Поэтому усилия нейрокибернетики были сосредоточены на создании элементов, аналогичных нейронам, и их объединении в нейросети. Первые нейросети были созданы в конце 50-х гг. американскими учеными Розенблаттом и МакКаллоком. Это были попытки создать системы, моделирующие человеческий глаз и его взаимодействие с мозгом [1, 4, 5].

В основу нейрокибернетики "черного ящика" лег принцип, противоположный нейрокибернетике. Не имеет значения, как устроено "мыслящее" устройство. Главное, чтобы на заданные входные воздействия оно реагировало так же, как человеческий мозг. Это направление искусственного интеллекта было ориентировано на поиски алгоритмов решения интеллектуальных задач. Оказалось, что ни одна из существующих наук – философия, психология, лингвистика – не может предложить такого алгоритма. Тогда кибернетики предложили создать собственные модели. Были созданы и опробованы различные подходы.

В конце 50-х гг. родилась модель лабиринтного поиска. Этот подход представляет задачу как некоторый граф, отражающий пространство состояний,

и в этом графе производится поиск оптимального пути от исходных состояний к результирующим [2, 3, 4, 5, 6].

Начало 60-х гг. – эпоха эвристического программирования. Эвристика – правило, теоретически не обоснованное, но позволяющее сократить количество переборов в пространстве поиска [2, 3, 4, 5, 6].

В 1963-1970 гг. к решению задач стали подключать методы математической логики. На основе метода резолюций, позволяющего автоматически доказывать теоремы при наличии набора исходных аксиом, создается язык ПРОЛОГ [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Существенный прорыв в практических приложениях искусственного интеллекта произошел в середине 70-х гг., когда на смену поискам универсального алгоритма мышления пришла идея моделировать конкретные знания специалистов-экспертов. В США появились первые коммерческие системы, основанные на знаниях, или экспертные системы. Пришел новый подход к решению задач искусственного интеллекта – представление знаний [2, 3, 5, 7, 8]. Разработка моделей представления знаний, создание баз знаний, образующих ядро экспертных систем, является одним из основных направлений искусственного интеллекта. В последнее время оно включает в себя модели и методы извлечения и структурирования знаний и сливается с инженерией знаний.

Но вернемся к понятию системы. Системы можно классифицировать с разных точек зрения. Например, системы делятся на естественные и искусственные – с точки зрения происхождения; на механистические и гуманистические – с точки зрения законов, управляющих поведением системы (механистические системы – это системы, поведение которых определяется законами механики, физики, химии и т.д., гуманистические системы – это системы, на поведение которых существенное влияние оказывают суждения, восприятие или эмоции человека). Кроме этого выделяют т.наз. большие и сложные системы [1].

Большой (многофакторной) системой называется система, поведение которой определяется всей совокупностью ее элементов, взаимодействующих между собой, причем ни один из них не является определяющим. При моделировании больших систем возникает проблема высокой размерности

описания – многие реальные задачи требуют учета многих сотен и даже тысяч различных факторов.

Сложной называется система, адекватное моделирование которой требует учета неточной, неопределенной или недоступной информации. Очень часто большие системы одновременно являются и сложными.

Именно сложные системы представляют наибольший интерес для искусственного интеллекта. Еще в начале 60-х гг. академик В.В. Чавчанидзе во многих своих работах подчеркивал, что при анализе сложных систем строгие математические методы малоэффективны и необходимо использовать качественные, неформальные методы. Результатом этого явились такие направления искусственного интеллекта как искусственный концептуальный интеллект [9, 10, 11], концептуальный системный анализ [12, 13] и общая теория концептуальных систем [14, 15, 16].

Отказ от количественных методов анализа систем и идея неформального подхода была поддержана многими учеными. Так, Л. Заде предлагает т. наз. лингвистический подход [17], в соответствии с которым в качестве значений переменных допускаются не только числа, но и слова или предложения естественного или искусственного языка. Такие переменные составляют основу нечеткой логики и приближенных способов рассуждений, которые более соответствуют сложности и неточности сложных (особенно гуманистических) систем, чем обычные численные методы анализа.

Интеллектуальные задачи, возникающие при анализе сложных систем, можно разбить на следующие основные категории [1, 8]:

интерпретация – описание ситуации/состояния по информации, поступающей от датчиков;

прогнозирование – определение вероятных последствий заданных ситуаций/состояний;

диагностика – выявление причин неправильного функционирования системы по результатам наблюдений;

планирование – определение последовательности действий, направленной на достижение некоторой цели;

и, наконец, управление – управление поведением системы как целого.

Очевидно, что эти основные категории задач взаимосвязаны, т.к. выполнение задачи какой-то одной категории часто невозможно без предварительного

выполнения задачи другой категории. К примеру, невозможно осуществить успешное планирование без адекватного прогнозирования, которое, в свою очередь, в большой мере зависит от диагностики и т.д. И все же наиболее общей задачей анализа систем представляется задача управления поведением системы, включающая в себя все вышеперечисленные основные категории задач, которые осуществляются на разных этапах процесса управления.

На первом этапе мы сталкиваемся с задачей диагностики. Диагностика состояния сложной многофакторной системы – это одна из наиболее актуальных задач в интеллектуальной деятельности человека. Это относится ко всем сферам человеческой деятельности, будь то экономика, медицина, экология и т.д.

1.2. Проблемы медицинской диагностики.

Состояние пациента, как и любой многофакторной системы, описывается большим числом факторов (симптомов, признаков). Признаковая система характеризуется не только обилием факторов, но и их большим разнообразием как с точки зрения их происхождения, так и с точки зрения их описания. Рассмотрим процесс постановки диагноза поэтапно.

I этап – сбор анамнеза.

Пациент приходит к врачу с определенными жалобами. Очень часто у пациента уже сформировано представление о собственном заболевании. Это накладывает определенный отпечаток на выдаваемую им информацию. Пациент, может и неосознанно, делит свои жалобы на "существенные" и "несущественные". К "существенным" симптомам он относит те, которые подтверждают его собственный "диагноз". Возможно, он даже преувеличивает интенсивность проявления этих симптомов. К "несущественным" пациент относит симптомы, либо слабопроявленные в его конкретном случае, либо не сидящие в картину его собственного "диагноза". Соответственно, он может занижить интенсивность "несущественных" симптомов и даже вообще не упомянуть о них. Кроме того, пациент при описании своего состояния пользуется не специальными терминами и точными количественными характеристиками, а общепринятыми определениями и понятиями и качественными характеристиками, которые по своей природе являются

нечеткими понятиями. Таким образом данные, получаемые от пациента, характеризуются субъективностью, неполнотой и нечеткостью [18, 19].

Свою долю субъективности вносит и врач. У врача на основе первичных жалоб пациента формируются варианты возможных заболеваний, и дальнейший опрос он производит, исходя из этих версий. Число возможных вариантов заболеваний на основе неполных данных ограничено, каждое из заболеваний имеет специфические и неспецифические проявления, и все это уводит сбор информации в определенном направлении, вне которого может оказаться правильное решение [18, 19, 20].

Т.о. от знаний врача и его способности ориентироваться в пространстве альтернативных решений зависит объективность и полнота данных анамнеза.

Но, кроме знаний, врач руководствуется интуицией и опытом, которые он наработал за годы практики. Несущественная на первый взгляд деталь, благодаря интуиции и опыту, может вывести врача на редкую картину заболевания, не поддающуюся типичным, общепринятым критериям диагностики. С другой стороны, интуиция и опыт позволяют врачу восстановить картину заболевания по неполным или неточным данным [19, 20].

II этап – лабораторные обследования и анализы.

На основе первичного опроса у врача сформированы варианты возможных диагнозов, и он, в соответствии с этими версиями, назначает обследование и анализы, которые должны подтвердить один из возможных диагнозов и опровергнуть остальные.

На этом этапе возникает проблема неточности информации. Отчасти неточность данных проистекает из ошибок измерения чисто технического характера. Но большая часть неточности обусловлена тем, что считывание и обработка информации происходят посредством человека, и это уже несет определенную долю субъективности, нечеткости и иногда просто ошибки [18, 21].

III этап – постановка диагноза.

На основе неполных, неточных, нечетких и субъективных данных врач ставит диагноз. И тут возникает еще одна проблема – некатегоричность медицинских знаний [18, 19].

Формально некатегоричность медицинских знаний можно выразить так. Если обычное (категоричное) знание может быть записано в виде правила продукции:

"если A , то B ",

то в случае медицинских знаний правило продукции принимает вид:

$$\text{если } A_1 \vee \dots \vee A_n, \text{ то } \begin{cases} B_1 \text{ с вероятностью } P_1 \\ \dots \\ B_m \text{ с вероятностью } P_m \end{cases}$$

Сходство картин различных заболеваний и, вместе с тем, широкий спектр возможных состояний в пределах одного и того же заболевания наряду с огромным количеством факторов, подлежащих учету, вынуждает врача разбить их на классы: "специфические"/ "неспецифические", "существенные"/ "несущественные", "типичные"/ "редкие" и т.д., и, очевидно, разные классы симптомов имеют различный вес при постановке диагноза. Несмотря на общепринятые критерии диагностики, предпочтения врача на множестве симптомов в той или иной мере индивидуальны, субъективны, т.е. отражают не только теоретические знания врача, но и его опыт и интуицию [18, 20].

Сложность задачи медицинской диагностики, с которой может справиться лишь ограниченное количество высококвалифицированных специалистов-экспертов, а также невозможность быстрой передачи другим специалистам экспертных знаний, особенно той неформализованной части, которая является результатом опыта и интуиции эксперта, сделала актуальным разработку моделей и методов извлечения и представления знаний с целью создания экспертных систем, могущих заменить эксперта в процессе диагностики состояния сложной многофакторной системы.

1.3. Экспертные системы и их возможности. Особенности построения экспертной системы.

Экспертная система – это система, в которую включены знания экспертов о некоторой конкретной проблемной области и которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения [5]. Т.к. основой и необходимым

условием успешной работы экспертной системы являются знания, то иначе их еще называют системами, основанными на знаниях.

Неформальное определение экспертной системы можно было бы дать следующим образом:

экспертная система – это система, имитирующая поведение эксперта-человека при принятии решения.

Из этого определения вытекают основные требования, предъявляемые к экспертным системам [5, 8, 22, 23, 24]:

1. **Глубина.** Экспертная система должна иметь глубокие знания, чтобы быть пригодной для решения сложных практических задач в какой-то конкретной проблемной области.
2. **Компетентность.** Экспертная система должна быть компетентной, т.е. ее решения по качеству и эффективности не должны уступать решениям эксперта-человека; она должна быть способна быстро и эффективно получать решения, используя приемы, которые применяет эксперт-человек, с тем, чтобы избежать громоздких или ненужных вычислений; она должна быть способна рассуждать в случае некорректных данных или неполных наборов правил, исходя из фундаментальных принципов нахождения решений.
3. **Символьные рассуждения.** Знания в экспертной системе должны быть представлены в символьном виде, и экспертная система должна быть способна манипулировать этими символами – по аналогии с экспертом-человеком, который при решении задачи не тратит время на трудоемкие математические вычисления, а представляет понятия предметной области при помощи символов и применяет различные стратегии и эвристики при манипулировании этими понятиями. Вот почему **представление знаний** (выбор, форма и интерпретация выбранных символов) является одним из самых важных факторов, обуславливающих успешное функционирование экспертной системы.
4. **Самосознание.** Экспертная система должна быть способна наращивать свои знания и объяснять, почему и как она приняла то или иное решение. Для этого необходимо, чтобы экспертная система имела знания, позволяющие ей рассуждать о собственных знаниях. Это знание системы о том, как она рассуждает, называется метазнанием.

Подытоживая все вышесказанное, можно сказать, что основной областью применения экспертных систем является решение т. наз. неформализованных задач, которые характеризуются следующими особенностями:

- символьный способ представления данных и знаний;
- неполнота, неточность, нечеткость и ошибочность данных;
- неполнота и некатегоричность знаний;
- большая размерность пространства решений;
- отсутствие точного и однозначного алгоритма принятия решения;
- динамически изменяющиеся данные и знания.

Любая законченная экспертная система (Рис.1) должна состоять из следующих компонент [5, 22, 23, 24, 25]:

1. База данных.
2. База знаний.
3. Машина логического вывода.
4. Модуль извлечения знаний.
5. Система объяснения – интерфейс с пользователем.

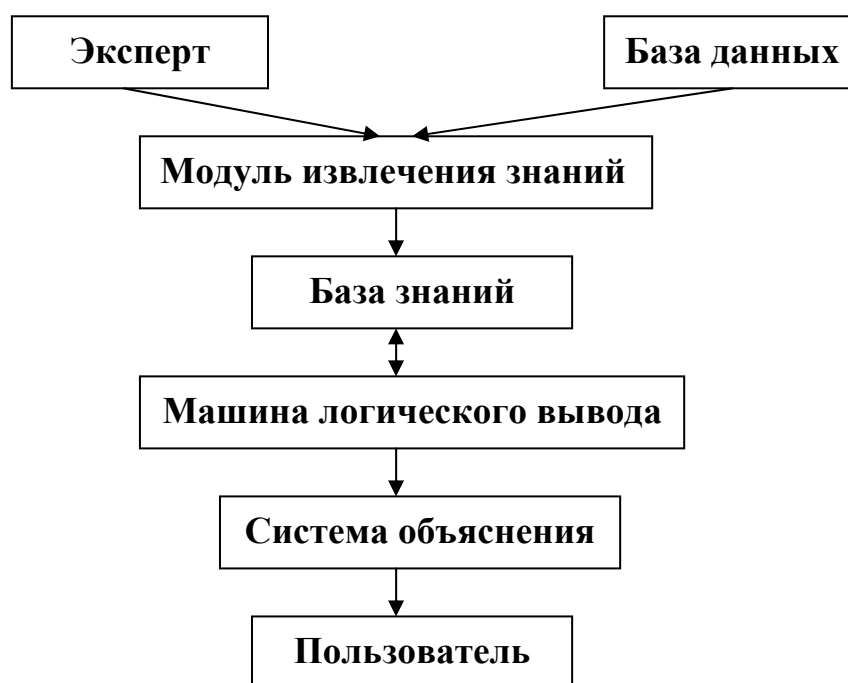


Рис. 1. Структура экспертной системы.

База данных предназначена для хранения исходных данных (текущего условия) решаемой задачи и промежуточных фактов, порожденных самой системой, на основе которых экспертная система должна принять решение.

База знаний предназначена для хранения знаний – "данных" другого типа. Это – долгосрочные данные, описывающие рассматриваемую область, а также правила, описывающие отношения и явления предметной области, и правила для порождения новых фактов или гипотез. Факты и правила чаще всего некатегоричны, т.е. существует некоторая степень неуверенности в достоверности факта или истинности правила. Часто это обусловлено тем, что многие правила являются эмпирическими и нацелены на нахождение приемлемого, а не строго обоснованного решения. Для работы с неопределенностью используются разные инструменты: нечеткая логика, коэффициенты уверенности, байесовская логика и т.д. [2, 5, 7, 17, 25].

Кроме знаний, описывающих непосредственно предметную область, экспертная система содержит т.наз. управляющие знания (метазнания) – это общие знания о способах нахождения решения задачи. Фактически, это различные стратегии выбора последовательности правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению поставленной задачи.

Основными стратегиями логического вывода являются "прямая цепочка рассуждений" и "обратная цепочка рассуждений". При "прямой цепочке рассуждений" система исходит из данных и задает последовательность вопросов до тех пор, пока все гипотезы не будут окончательно подтверждены или опровергнуты. При "обратной цепочке рассуждений" система исходит из гипотезы базы знаний и задает вопросы до тех пор, пока не будет подтверждена или опровергнута эта гипотеза. Затем система переходит к следующей гипотезе. Но наиболее удачными являются комбинации этих цепочек [1,5].

Для хранения и применения управляющих знаний предназначена **машина логического вывода**. Машина логического вывода, манипулируя знаниями из базы знаний и базы данных, находит решение поставленной задачи.

Все вышеперечисленные знания собираются заранее. Источником знаний обычно является эксперт-человек, но могут быть и эмпирические данные, и тексты. Затем, в процессе построения и отладки экспертной системы, эти знания многократно проверяются и модифицируются инженером знаний совместно с

экспертом. Этот процесс передачи знаний от эксперта экспертной системе называется **приобретением знаний**.

Кроме извлечения знаний из эксперта приобретение знаний включает в себя представление этих знаний в компьютерно-представимом виде, а также модификацию этих знаний, пока в процессе отладки система не достигнет принятия высококачественных решений.

Процесс приобретения знаний – одно из самых узких мест в разработке экспертных систем, т.к. с трудом поддается автоматизации. Сложность данного процесса обусловлена не только большим объемом знаний, которыми обладает эксперт. Часто эксперт-человек не в состоянии объяснить, каким образом он пришел к тому или иному решению. Если же объяснение имеется, то оно часто оказывается далеким от реального процесса принятия решения. Дело в том, что в процессе принятия решения эксперт использует как теоретические знания, которые так или иначе позволяют обосновать принятое решение, так и опыт и интуицию, которые слабо, а то и вовсе не поддаются формализации и объяснению. Если же принятие решения произошло как "озарение", эксперт не успевает проследить цепочку своих рассуждений.

Представление таких неформализованных знаний – это уже другая проблема, причем способ представления знаний должен обеспечивать легкость дальнейшей модификации этих знаний. Для автоматизации процесса приобретения знаний предназначен **модуль извлечения знаний**.

И последняя компонента экспертной системы – **система объяснения** – должна осуществить одну из важных способностей системы, подтверждающей ее "интеллектуальность", – способность объяснить, как и почему было принято то или иное решение.

1.3. Проблемы представления и приобретения знаний.

Так как экспертная система – это система, имитирующая поведение эксперта-человека при принятии решения, то основной задачей является автоматизация подобных процессов мышления человека. Основной областью применения экспертных систем являются т. наз. гуманистические системы. Гуманистическими называются такие системы, в которых существенная роль принадлежит суждениям и знаниям человека. Примерами гуманистических

систем могут быть экономические системы, политические системы, правовые системы и т.д. Сам человек и его мыслительные процессы также могут рассматриваться как гуманистические системы.

В отличие от механистических систем, которые поддаются точному количественному описанию и анализу и, следовательно, компьютерному анализу, количественный анализ и компьютерное моделирование гуманистических систем сталкивается с определенными сложностями. Большинство из этих проблем было описано в разделе 1.1 при характеристике неформализованных задач. В ряде работ [17] был выдвинут т. наз. принцип несовместимости, утверждающий, что высокая точность несовместима с большой сложностью системы. Так что методы анализа систем и моделирования на ЭВМ, основанные на точной обработке числовых данных, не способны охватить огромную сложность процессов человеческого мышления и принятия решений. Поэтому было предложено пожертвовать высокой точностью данных и строгостью рассуждений и перейти к приближенным рассуждениям и нечетким методам описания.

Основой этого являются понятия нечеткого множества и лингвистической переменной [1, 3, 17, 26]. Приведем основные термины и положения теории нечетких множеств, которые понадобятся нам в дальнейшем.

Пусть $U = \{u\}$ – универсальное множество.

Нечетким множеством A на множестве U называется совокупность пар вида

$$A = \{(\mu_A(u)/u)\},$$

где $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ – отображение множества U в единичный отрезок $[0, 1]$ – называется функцией принадлежности нечеткого множества A . Значение функции принадлежности $\mu_A(u)$ для конкретного элемента $u \in U$ называется степенью принадлежности. Степень принадлежности $\mu_A(u)$ является субъективной мерой того, насколько элемент $u \in U$ соответствует понятию, смысл которого формируется нечетким множеством A [1, 17, 26, 27].

Нечеткое множество $A = \{(\mu_A(u)/u)\}$ является подмножеством нечеткого множества $B = \{(\mu_B(u)/u)\}$ тогда и только тогда [1, 17, 26, 27], когда

$$\mu_A(u) \leq \mu_B(u) \text{ для } \forall u \in U.$$

Степенью включения нечеткого множества $A = \{(\mu_A(u)/u)\}$ в нечеткое множество $B = \{(\mu_B(u)/u)\}$ называется величина [1, 17, 26, 27]

$$\nu(A, B) = \bigwedge_{u \in U} (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(u)), \text{ где}$$

$$\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(u) = (1 - \mu_A(u)) \vee \mu_B(u).$$

Дополнением нечеткого множества $A = \{(\mu_A(u)/u)\}$ называется множество $\bar{A} = \{(\mu_{\bar{A}}(u)/u)\}$ [1, 17, 26, 27], где

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \text{ для } \forall u \in U.$$

Операция дополнения соответствует логическому отрицанию: если A – название нечеткого множества, то "не A " понимается как $\bar{A}$.

Объединением нечетких множеств $A = \{(\mu_A(u)/u)\}$ и $B = \{(\mu_B(u)/u)\}$ называется множество $A \cup B = \{(\mu_{A \cup B}(u)/u)\}$ [1, 17, 22, 23], где

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u) = \max\{\mu_A(u); \mu_B(u)\} \text{ для } \forall u \in U.$$

Объединение соответствует логической связке "или": если A и B – названия нечетких множеств, то запись " A или B " понимается как $A \cup B$.

Пересечением нечетких множеств $A = \{(\mu_A(u)/u)\}$ и $B = \{(\mu_B(u)/u)\}$ называется множество $A \cap B = \{(\mu_{A \cap B}(u)/u)\}$ [1, 17, 26, 27], где

$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u) = \min\{\mu_A(u); \mu_B(u)\} \text{ для } \forall u \in U.$$

Пересечение соответствует логической связке "и".

Для определения лингвистической переменной будет удобно пользоваться следующей формализацией понятия обычной переменной [17]:

Обычная (не нечеткая) переменная характеризуется тройкой (X, U, R_X) , где X – название переменной,

U – универсальное множество, $u \in U$ – элемент этого множества,

R_X – подмножество множества U , представляющее собой ограничение на значения u , обусловленное названием X . В общепринятой терминологии R_X – область значений переменной X .

Неограниченная, не нечеткая переменная u является базовой переменной. Кроме того, переменной соответствует уравнение назначения:

$$X = u : R_X$$

Это уравнение отражает тот факт, что переменной X назначено значение u с учетом ограничения R_X . Т.о. уравнение назначения удовлетворяется тогда и только тогда, когда $u \in R_X$.

Нечеткая переменная также характеризуется тройкой (X, U, R_X) [17, 27], где X – название переменной,

U – универсальное множество, $u \in U$ – элемент этого множества,

$R_X = \{(\mu_{R_X}(u)/u)\}$, $u \in U$ – нечеткое подмножество множества U , представляющее собой нечеткое ограничение на значения u , обусловленное названием X .

Уравнение назначения для X имеет вид:

$$X = u : R_X$$

Это уравнение отражает тот факт, что переменной X назначается значение u с учетом ограничения R_X .

Если в случае обычной переменной это равенство однозначно либо выполняется при $u \in R_X$, либо не выполняется при $u \notin R_X$, в случае нечеткой переменной оно выполняется с **определенной степенью**, которая называется совместимостью значения u с R_X и обозначается через $c(u)$ [17],

$$c(u) = \mu_{R_X}(u), \quad u \in U.$$

Если X – название нечеткой переменной, то ограничение R_X , обусловленное этим названием, можно интерпретировать как смысл переменной X .

Лингвистическая переменная является переменной более высокого порядка, чем нечеткая переменная, в том смысле, что значением лингвистической переменной являются нечеткие переменные.

Формально лингвистическую переменную можно определить следующим образом [17, 27]:

Лингвистическая переменная характеризуется набором $(\mathcal{X}, T(\mathcal{X}), U, G, M)$, где

$\mathcal{X}$ – название переменной;

$T(\mathcal{X})$ – терм-множество переменной $\mathcal{X}$, т.е. множество названий лингвистических значений переменной $\mathcal{X}$, каждое из которых является нечеткой переменной со значениями из универсального множества U с базовой переменной u ;

G – синтаксическое правило, порождающее название X значений переменной $\mathcal{X}$;

M – семантическое правило, которое каждой нечеткой переменной X ставит в соответствие ее смысл, т.е. нечеткое подмножество $M(X)$ универсального множества U . Смысл $M(X)$ термина X определяется как ограничение на значения u , обусловленное нечеткой переменной X , т.е. $M(X) = R_X$.

Конкретное название X , порожденное синтаксическим правилом G , называется термом. Терм, составленный из одного слова или нескольких слов, всегда фигурирующих вместе друг с другом, называется атомарным термом. Терм, состоящий из более чем одного атомарного термина, называется составным термом.

Уравнение назначения для лингвистической переменной имеет вид:

$$\mathcal{X} = \text{терм в } T(\mathcal{X}).$$

Фактически, лингвистической называется переменная, значениями которой являются слова или предложения естественного или искусственного языка. С помощью лингвистических переменных можно приближенно описывать явления, которые настолько сложны или плохо определены, что не поддаются описанию в количественных терминах.

Что касается приближенных рассуждений, то это – результат интерпретации понятия **Истинность** как лингвистической переменной, принимающей значения:

$$T(\text{Истинность}) = \{\text{истинный; не истинный; более или менее истинный; ложный; очень ложный; ни истинный, ни ложный ...}\}$$

Соответствующая базовая переменная является числом из интервала $[0, 1]$. Такая трактовка истинности как лингвистической переменной приводит к нечеткой логике, которая более близка к логике, используемой человеком при принятии решения, чем обычная двузначная логика.

Аналогично вероятность в теории вероятностей можно рассматривать как лингвистическую переменную со значениями:

$$T(\text{Вероятность}) = \{\text{правдоподобно; вероятно; более или менее вероятно; неправдоподобно; весьма неправдоподобно ...}\},$$

что предоставляет возможность для приближенного прогнозирования сложных, нечетких событий.

Теперь рассмотрим проблему представления знаний.

Что такое знания и чем они отличаются от обычных данных? На этот вопрос можно было бы ответить следующим образом.

Данные – это отдельные факты, характеризующие объекты и процессы в предметной области, а также их свойства.

Знания связаны с данными, основываются на них, но представляют собой результат мыслительной деятельности человека. Это – принципы, связи, закономерности предметной области, выявленные человеком в процессе обобщения своего опыта в ходе выполнения какой-либо практической деятельности или исследований в данной предметной области.

Рассмотрим, на какие категории можно разбить знания с точки зрения человека, обрабатывающего информацию. Знания обычно представляются в виде фактов (т.е. классов объектов и взаимосвязей между ними), в виде процедур и правил манипулирования фактами, а также в виде информации о том, когда и как следует применять правила и процедуры – т.е. в виде управляющих знаний [7, 23, 24].

В полной аналогии с этим любая экспертная система содержит все эти категории знаний: факты и правила – в базе знаний, управляющие знания – в машине логического вывода.

Объекты группируют по классам – в этом случае достаточно помнить характеристики класса, а не каждого объекта. Между классами объектов или отдельными объектами определяются отношения.

Правила позволяют определить, как вывести новые особенности класса или отношения для объектов, прежде не подразделенных на классы.

Управляющие знания позволяют решить, какое из правил должно применяться следующим.

По способу представления знания можно разделить на **декларативные** и **процедурные** [1, 2, 18, 22, 23, 24].

При **декларативном** представлении большая часть знаний представлена в виде статической совокупности фактов, сопровождаемой небольшим набором универсальных процедур для манипулирования этими фактами.

При **процедурном** представлении знания воплощены в виде выполнимых процедур (программ), которые в процессе работы выявляют смысл этого знания.

Так, классы и отношения относятся к декларативным знаниям, а правила и управляющие знания – к процедурным. В большинстве областей возникает

необходимость в обоих типах представления. Граница между ними очень подвижна: чем меньше знаний декларируется, тем больше процедурных знаний необходимо, и наоборот.

Существует множество моделей представления знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим классам [1, 2, 3, 4, 18, 22, 24, 26]:

- 1) продукционные;
- 2) семантические сети;
- 3) фреймы;
- 4) формальные логические модели.

Продукционная модель состоит из трех вышеуказанных элементов: классов и отношений (фактов), правил продукций (процедур), управляющей структуры (управляющих знаний). Классы и отношения трактуются как база данных, содержащая декларативные знания. Правила продукций представляют знания в виде предложений типа:

ЕСЛИ условие ТО действие

Обычно **условие** – это логическая комбинация утверждений – фактов базы данных, а **действием** является некоторая операция, видоизменяющая содержимое базы данных [3, 22].

Функционирование системы, основанной на продукционной модели знаний, в общем виде можно описать следующим образом:

Текущее состояние отражается посредством фактов, фиксируемых в базе данных. В ходе решения задачи происходит сопоставление одной из частей правила с содержимым базы данных. Если возникает ситуация, когда могут быть применены одновременно несколько правил, то решение об очередности применения правил принимает управляющая структура [1, 2].

Продукционная модель представления знаний чаще всего применяется в промышленных экспертных системах, т.к. обладает следующими преимуществами [4, 6, 25]:

- легкость модификации знаний:
каждое правило описывает небольшой и сравнительно независимый фрагмент знаний, что обуславливает легкость изменения базы знаний – старые правила можно изменять или заменять на новые независимо от других правил;

- возможность наращивания базы знаний:
добавление новых правил в базу знаний происходит сравнительно независимо от других правил;
- "прозрачность" принятия решения:
за счет наглядности и простоты механизма логического вывода применение правил продукций облегчает объяснение принятых решений – как было принято то или иное решение и почему системе требуется та или иная информация;
- отделение управляющих знаний от предметных знаний, что позволяет применять различные управляющие стратегии.

Семантические сети – это способ представления знаний на основе сетевой структуры. Семантические сети первоначально были разработаны для использования их в качестве психологических моделей человеческой памяти [1, 2, 3, 4, 22, 24, 26].

Семантическая сеть – это ориентированный граф, вершины которого – понятия, а дуги – отношения между ними. Понятиями выступают объекты или события, а отношения – это связи типа "является", "имеет", "принадлежит" и т.д. Каждая дуга имеет метку, характеризующую тип (точнее, смысл) связи между соответствующими вершинами-понятиями [7, 8, 25]. Каждая пара вершин, соединенная дугой, представляет простой факт. Например, следующий фрагмент сети (Рис.2)

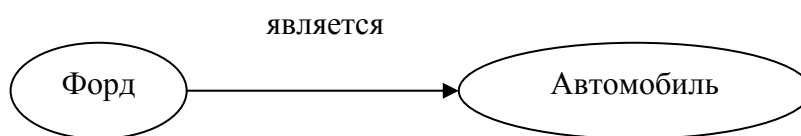


Рис. 2. Фрагмент семантической сети.

представляет факт, что "Форд" – это марка автомобиля, а не фамилия какого-то человека. Любая из вершин может быть соединена с любым числом других вершин. В результате этого формируется сеть фактов.

Наиболее часто в семантических сетях используются следующие отношения [1, 4, 22]:

- связи типа "часть – целое" ("класс – подкласс", "элемент – множество" и т.д.);
- функциональные связи, определяемые обычно глаголами (напр., "производит", "влияет" и т.д.);
- количественные (больше, меньше, равно и т.д.);
- пространственные (далеко от, близко от, над, под и т.д.);
- временные (раньше, позже, в течение и т.д.);
- атрибутивные связи (имеет свойство, имеет значение и т.д.);
- логические связи (и, или, не).

Семантические сети, содержащие единственный тип отношений, называются однородными.

Обычно дуги, используемые для иерархии, включают дуги типа "является" и "имеет". Эти отношения устанавливают т. наз. свойство иерархии наследования в сети [1, 7, 8, 25]. Это означает, что элементы более низкого уровня в сети могут наследовать свойства элементов более высокого уровня в сети. Это экономит память, т.к. информацию общего характера для сходных вершин можно запомнить не для каждой конкретной вершины, а для одной – общей для них вершины. Эта информация будет извлечена с помощью "наследования" признаков через связь "является".

Проблема поиска решения в базе знаний типа семантической сети сводится к задаче поиска фрагмента сети, соответствующего поставленному вопросу. Именно сложность поиска вывода на семантической сети является основным недостатком этой модели представления знаний.

Фрейм был предложен в 70-е гг. как структура знаний для восприятия пространственных сцен. Фрейм, как и семантическая сеть, рассматривался как одна из психологических моделей человеческой памяти, позволяющая отражать понятийную основу организации памяти человека.

Фреймом называется формализованная модель для отображения образа или ситуации [1,2,3,4,22,24,26]. Каждый фрейм имеет имя для идентификации описываемого им понятия. Понятие определяется набором атрибутов, называемых слотами, и значениями атрибутов. Структуру фрейма можно представить следующим образом (Рис.3).

Значениями слотов могут быть константы или имена других фреймов – так образуются сети фреймов. Слот может быть и пустым, т.е. для понятия,

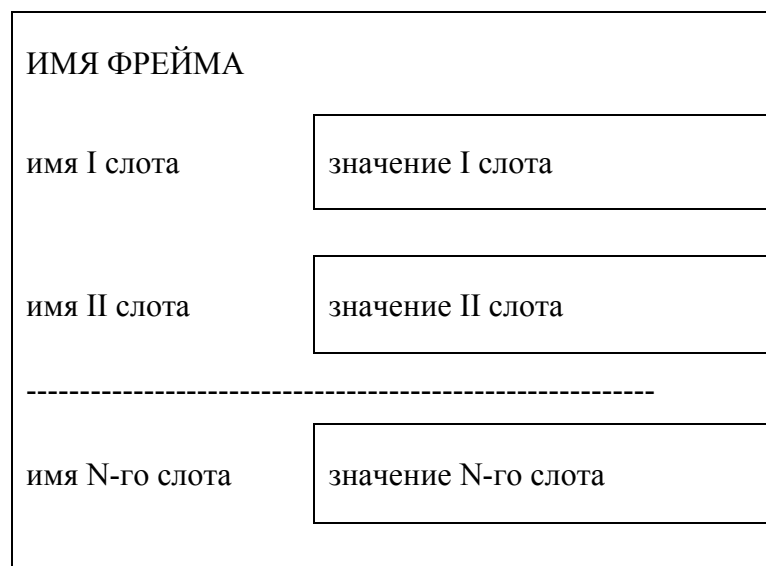


Рис. 3. Структура фрейма.

описываемого на данном уровне абстракции, значение соответствующего атрибута является несущественным.

С каждым слотом можно связывать любое число процедур [4, 7, 8]. Наиболее часто используемые процедуры [1, 4, 8]:

если_добавлено – выполняется, когда в слот помещается новая информация;

если_удалено – выполняется, когда информация удаляется из слота;

если_нужно – выполняется, когда запрашивается информация из слота, а он пустой.

Различают **фреймы-образцы**, или прототипы, хранящиеся в базе знаний, и **фреймы-экземпляры**, которые создаются для отображения конкретных ситуаций на основе поступивших данных. Фрейм-экземпляр создается на основе соответствующего фрейма-образца, в котором фиксируются значения слотов, относящиеся к определенному индивидууму. Кроме этого фрейму-экземпляру присваивается уникальное имя для идентификации этого индивидуума [1, 4, 7, 25].

Фреймы объединяются в иерархические сети, состоящие из узлов и отношений, причем верхние узлы представляют общие понятия, а нижние – более частные случаи этих понятий. Важнейшим свойством фреймов, заимствованным из теории семантических сетей, является наследование свойств [1,4,22]. Наследование происходит по слоту АКО (A-kind-of = это), который указывает на фрейм более высокого уровня иерархии, из которого переносятся значения аналогичных слотов. Наследование свойств может быть частичным –

если значение слота явно указано в фрейме более низкого уровня, то соответствующее свойство из фрейма более высокого уровня не наследуется.

Формальные логические модели представления знаний обычно основаны на исчислении предикатов I порядка [1, 2, 3, 4, 22, 24, 26], когда предметная область или задача описываются в виде набора аксиом.

В исчислении предикатов именам отношений соответствует термин "предикаты", а объектам – "аргументы". Объект может быть представлен как константа, т.е. как конкретный индивидуум или класс индивидуумов, или как переменная – в этом случае конкретный индивидуум или класс индивидуумов остаются незадавленными. Порядок аргументов каждого предиката фиксируется в рамках определенной предметной области. Предикат и связанные с ним аргументы называются элементарными высказываниями. Элементарные высказывания объединяются в сложные с помощью логических связок **И(&)**, **ИЛИ(∨)**, **НЕ(–)** и импликации ($\rightarrow$) [3, 7, 26].

Все высказывания в классическом исчислении предикатов должны иметь значения либо **ИСТИНА**, либо **ЛОЖЬ**. Так как в высказываниях в качестве аргументов могут быть использованы переменные, то для манипулирования переменными введены кванторы – квантор общности $\forall$ и квантор существования $\exists$. В случае квантора общности высказывание должно быть истинно для всех значений переменной, относящихся к данной предметной области. В случае квантора существования соответствующее высказывание должно быть истинным хотя бы для одного из значений переменной из данной предметной области [1, 2, 7, 22].

Посредством высказываний можно недвусмысленно выразить многие сложные предложения разговорного языка. Кроме того, что исчисление предикатов предоставляет нам возможность стандартизированного и недвусмысленного представления знаний, выраженных в предложениях естественного языка. Оно также позволяет логически выводить новые факты и правила из некоторого заданного набора высказываний. Это осуществляется посредством так называемых правил вывода – это утверждения о взаимосвязях между допущениями и заключениями, которые всегда справедливы с точки зрения исчисления предикатов независимо от смысла высказываний и, тем более, предметной области. В исчислении предикатов существует многих

различных правил вывода. Например, одним из ключевых и часть используемых правил вывода является правило **"modus ponens"**:

Если $A \rightarrow B$ и A , то B .

Как уже было отмечено, правила вывода могут применяться либо для установления истинности утверждения, либо для порождения заключения, что позволяет автоматизировать процесс обработки знаний. Однако исчисление предикатов относится к числу так называемых монотонных формальных систем [1,4,7]. Т.е. в исчислении предикатов никогда не приходится отказываться от заключения, если становится известным дополнительный факт. В отличие от этого, эксперт-человек часто меняет или отказывается от ранее полученных заключений при появлении новых фактов (т.е. мы имеем дело с немонотонной системой рассуждений).

Вторая сложность, которая может возникнуть при использовании исчисления предикатов, заключается в том, что слепое применение вывода с целью получения нужного доказательства в лучшем случае займет слишком много времени, даже если мы достигнем нужной цели, этот факт навряд ли будет положительно характеризовать нашу систему как эксперта. В худшем случае это может привести к так называемому "комбинаторному взрыву" – к порождению огромного количества сложных и зачастую лишних и абсолютно бессмысленных с точки зрения человека правил [1,4,7].

Т.о. автоматизация вывода доказательства в исчислении предикатов требует определения процедур для выбора правил, чтобы предотвратить появление лишних и бессмысленных (с точки зрения человека) правил и при этом обеспечить немонотонность рассуждений. Для достижения этого, как уже было сказано в разделе 1.1, в начале все усилия были направлены на поиск универсальных процедур вывода доказательств, позволяющих обойти проблему комбинаторного взрыва. Но большинство из разработанных методов были слишком малоэффективны для решения реальных сложных задач. Реальный успех был достигнут лишь тогда, когда был отброшен принцип универсальности мышления и принят тезис о том, что основным залогом высокой эффективности экспертной деятельности являются обширные знания о конкретной предметной области [5,7,18,22,23,24].

В заключение отметим, что в промышленных экспертных системах используется различные модификации исчисления предикатов I порядка, т.к.

классическое исчисление предикатов I порядка предъявляет очень высокие требования и ограничения к предметной области.

Теперь рассмотрим, какие проблемы возникают на этапе приобретения знаний.

Процесс приобретения знаний состоит из нескольких фаз. Одни авторы [28] выделяют три фазы: определение предметной области; формирование начальных знаний; формирование основного состава знаний. Другие [25] процесс приобретения знаний разбивают на фазы, отражающие изменение функций эксперта и инженера по знаниям; предварительная фаза (инженер по знаниям и эксперт), начальная фаза (инженер по знаниям); фаза накопления (эксперт и инженер по знаниям). Но наиболее широко распространенная точка зрения [29, 30] состоит в том, что процесс приобретения знаний содержит столько же фаз, на сколько фаз разбивается процесс разработки экспертной системы:

- 1) фаза идентификации – на этой фазе определяются основные аспекты проблемы, участники процесса проектирования и их роли, ресурсы и цели. К основным аспектам проблемы относятся общая характеристика проблем; подпроблемы, выделяемые внутри данной проблемы; ключевые понятия и отношения; предположительный вид решения; источники знаний;
- 2) фаза концептуализации – на этой фазе вырабатывается модель проблемной области, а именно: ключевые понятия и отношения в проблемной области; подпроблемы общей проблемы: виды взаимосвязей между объектами области; используемые стратегии и гипотезы, вводимые и выводимые данные; словарь терминов. Эта фаза обычно состоит из продолжительной серии интервью, во время которых инженер по знаниям предлагает эксперту для решения задачи, близкие к реальным, и составляет детальный протокол действий и рассуждений эксперта в процессе решения.
- 3) фаза формализации – на этой фазе инженер по знаниям должен представить все ключевые понятия и отношения на некотором формальном языке и подобрать подходящие инструментальные средства;
- 4) фаза выполнения – на этой фазе происходит накопление базы знаний для прототипа экспертной системы;

- 5) фаза тестирования – по результатам тестирования определяется полнота и непротиворечивость знаний системы, правомерность используемых стратегий поиска решений.

Приобретение знаний является одним из наиболее важных и, вместе с тем, проблематичных аспектов в разработке экспертных систем, т.к. с трудом поддается автоматизации. Особенно это касается фазы концептуализации.

Различают четыре подхода к извлечению знаний на фазе концептуализации [1, 24, 25, 31]:

- 1) моделирование сценария – эксперт выбирает элементарный сценарий и описывает рассуждения, необходимые для достижения цели;
- 2) декомпозиция цели – разбиение задачи на подзадачи, что больше ориентировано на описание структуры целевых состояний, чем на получение правил;
- 3) процедурное моделирование – эксперту предлагаются для решения задачи, близкие к реальным, и составляется детальный протокол действий и рассуждений эксперта;
- 4) реклассификация – конструируются правила, позволяющие отличить друг от друга объекты предметной области.

Одним из основных подходов к приобретению знаний все же остается интервьюирование эксперта. Имелись многие попытки автоматизировать этот процесс, но, тем не менее, проблема окончательно не решена. Одной из причин является то, что эксперты склонны описывать процесс принятия решения в общих выражениях, которые слишком расплывчаты для эффективного анализа на ЭВМ. Кроме того, при описании процесса рассуждений эксперт, в лучшем случае, приводит только основные шаги, часто опуская мелкие шаги, которые кажутся ему очевидными. В худшем случае эксперт принимает решение "мгновенно" и далее не имеет представления об отдельных шагах на пути поиска решения. При этом, объясняя свое решение, эксперт выстраивает логически обоснованную цепочку рассуждений, которая, однако, далека от действительной последовательности рассуждений [1, 5, 20, 21, 24, 29, 30, 32].

Другой причиной является то, что успешность приобретения знаний зависит и от искусности и опытности инженера по знаниям. Формальной теории по инженерии знаний пока не существует, а различные способы и уловки,

которыми пользуются инженеры по знаниям при извлечении знаний, трудно стандартизировать.

Большинство автоматизированных средств по приобретению знаний [25, 30] являются предметно-зависимыми, т.е. зависят от специфики предметной области и средств и способов представления знаний в соответствующей конкретной экспертной системе, и являются лишь посредниками между экспертной системой и экспертом. В этом случае приобретение знаний осуществляется в интерактивном режиме в процессе общения эксперта с экспертной системой. Обычно знания приобретаются в "контексте ошибки": эксперт задает системе задачу, следит за ее выполнением и в случае ошибки пытается определить компоненту знаний, приведшую к неудаче. Такие средства приобретения знаний полезны не столько на фазе концептуализации, сколько на последующих фазах приобретения знаний.

Теперь приведем краткий обзор медицинских экспертных систем и рассмотрим особенности организации тех или иных их компонент.

Система MYCIN предназначена для диагностики бактериальных инфекций и определения методов их лечения. Знания в этой системе разделены на факты и правила, достоверность которых характеризуется коэффициентами определенности. Факты представлены в виде триплета "объект – атрибут – значение". Правила представлены в виде правил продукции. Система MYCIN может приобретать новые правила и модифицировать старые.

На основе системы MYCIN разработаны другие экспертные и инструментальные системы: инструментальной системы EMYCIN, PUFF (обеспечение медицинской помощи при респираторных заболеваниях), GRAVIDA (консультации для беременных), CLOT (изменение состава крови), VM (лечение послеоперационных больных), инструментальная система TEIRESIAS, GUIDON (обучающая система для противомикробной терапии), NEOMYCIN (диагностики менингита), BLUEBOX (лечение депрессии), HEADMED (психических заболеваний). Слабые стороны этого подхода на основе системы MYCIN заключаются в следующем:

- 1) процедура вывода далека от реального процесса рассуждений, свойственного эксперту-человеку;
- 2) этот подход менее эффективен в случае сложной диагностики, когда одни и те же симптомы могут относиться к большому числу заболеваний.

Эти слабые стороны были учтены при создании экспертной системы INTERNIST/CADUSEUS. Система INTERNIST предназначена для диагностики внутренних заболеваний человека. В отличие от системы MYCIN, в этой системе предполагается, что пациент может быть болен одновременно несколькими заболеваниями. Система INTERNIST содержит информацию о 500 заболеваниях. Система может быть использована и в качестве обучающей. Знания представляются в виде семантических сетей с использованием коэффициента определенности. Система может приобретать новые данные, причем модификация связей осуществляется автоматически.

Компьютерные диагностирующие и обучающие системы были созданы и продолжают разрабатываться во многих областях медицины:

сердечно-сосудистые заболевания – ANGY (знания в виде правил), ANNA, DIAGNOSER (знания в виде фреймов), DIGITALIS ADVISER (семантические сети), EEG ANALYSIS SYSTEM (правила), GALEN (правила, фреймы), MECS-AI (правила), MI (правила), МОДИС (семантические сети, фреймы, правила), HEART IMAGE INTERPRETER (семантические сети, фреймы, правила), HI-ATTENDING (фреймы);

заболевания легких – CENTAUR (правила, фреймы), WHEEZE (правила);
заболевания почек – AI/MM (правила);

заболевания печени – MDX (фреймы), RADEX (фреймы);

ревматология – ARAMIS, RX, AI/RHEUM (правила);

офтальмология – MEDICO (правила), OCULAR HERPES MODEL (правила), PEC (правила), CASNET/GLAUCOMA (семантические сети);

неврология – NEUREX (правила), NEUROLOGIST-I (аналого-геометрическая модель ЦНС);

онкология – ONCOCIN (правила).

Во всех этих системах в равной степени использованы основные модели представления знаний. Что касается методов извлечения знаний, то их всех объединяет одно: конечный результат представляет собой описание процесса принятия решения, которое может оказаться достаточно далеким от реального процесса принятия решения. Дело в том, что в процессе принятия решения эксперт использует не только теоретические знания, которые так или иначе позволяют обосновать принятое решение, но и опыт и интуицию, которые слабо, а то и вовсе не поддаются формализации и объяснению. При описании

процесса рассуждений эксперт, в лучшем случае, приводит только основные шаги, часто опуская мелкие шаги, которые кажутся ему очевидными. В худшем случае эксперт принимает решение "мгновенно" и далее не имеет представления об отдельных шагах на пути поиска решения. При этом, объясняя свое решение, эксперт выстраивает логически обоснованную цепочку рассуждений, которая, однако, далека от действительной последовательности рассуждений. Или же эксперт приписывает успешное решение интуиции или предчувствию. И тогда результатом применения интуитивных знаний является не цепь логических рассуждений, которую так или иначе можно восстановить и формализовать, а акт сопоставления конкретного объекта, состояния, ситуации с некими "образцами", возникшими в результате наслоений теоретических знаний и многолетнего опыта. Именно выявление и последующая формализация интуитивных знаний эксперта является непреодолимой проблемой и практически не решается приведенными выше методами [20, 32].

Основной предпосылкой мастерства эксперта является значительный набор фактов и правил. Но эти знания – не просто упорядоченный набор фактов и правил. Эти знания являются сжатыми и приведенными к наиболее емкой форме – к форме "концептов". Новые ситуации эксперт распознает как примеры имеющихся у него "концептов", что позволяет ему почти мгновенно оценить ситуацию или принять решение. Возможно, именно эти "концепты" и являются основой интуиции и предчувствия эксперта [9, 10, 14].

Рассматриваемый в следующем разделе концептуальный подход к описанию состояний и представлению знаний, ставший основой для теории ИКИ, позволяет понять природу этого явления и, более того, выявить и формализовать интуитивные знания эксперта.

1.4. Концептуальный подход к описанию состояний и представлению знаний. Аналитическое решение задачи формирования понятий.

Основное положение теории ИКИ, выдвинутое и развитое в работах [9,10,12,13,14,16,33], заключается в том, что процессы познания и мышления понятийны. Это обосновывается тем, что мозг – сложная иерархия нейронных

сетей, т. наз. концептуальных ансамблей нейронов ("кан"-ов). Эти "кан"-ы являются материальными носителями понятий, образуемых человеком в процессе познания. Именно в процессе познания, при переходе от наблюдаемых объектов, фактов, ситуаций к соответствующему понятию, происходит самоорганизация и структуризация "кан"-ов. Именно наличие "кан"-ов соответствующих понятий, образов или ситуаций позволяет субъекту распознавать объекты и ситуации, описывать и классифицировать их. Именно наличие "кан"-ов соответствующих систем позволяет субъекту воспринимать реально существующие системы как примеры имеющегося у него понятия или образа, описывать их и оперировать ими на абстрактном уровне [9, 16].

Естественно, "кан"-ы не являются точным отображением реально существующих систем, объектов. "Кан"-ы несут в себе сжатую информацию с отпечатком особенностей восприятия, познания, опыта субъекта, т.е. содержат в себе и объективные, и субъективные факторы. Кроме того, в процессе умственной деятельности, наблюдений, практики "кан"-ы подвергаются модификации, трансформации и синтезу, собирая в себе весь опыт и знания, приобретаемые субъектом в процессе познания окружающего мира [9, 16].

Исходя из вышесказанного, создатели ИКИ пришли к следующему важному выводу: процесс формирования понятий и процесс формирования образов или ситуационных образов идентичны [9,12,14]. Это позволило им в качестве единого и универсального языка для описания сложных систем и процессов выбрать понятийное описание [9,10,14,16], а в качестве универсального метода формирования понятий взять концептуальный метод, имитирующий процесс формирования понятий естественным интеллектом [9,11,14,16,34,35]. В результате применения этого метода каждому понятию сопоставляется "концепт" – вычислимое понятие, которое в сжатой форме содержит всю информацию о нем.

Задача формирования понятия стоит следующим образом [9,11,14,34]. Пусть задан класс объектов C , состоящий из конечного числа $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ нетождественных друг другу объектов. Каждый из объектов $C_i, i=1, \dots, n$ характеризуется конечным набором признаков $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ и оценкой, указывающей, к какому из подклассов $C^+ \subset C$ или $C^- \subset C$ был отнесен этот объект. Каждый признак $A_j, j=1, \dots, m$ может принимать значения

$b_{jk} \subset B, k=1,2,\dots,n_j$. Упорядоченное множество значений, принимаемых признаками $A_1, A_2, \dots, A_m$ в случае объекта C_i , назовем "траекторией". Объект C_i можно записать в виде "траектории"

$$C_i = \{b_1(i), b_2(i), \dots, b_m(i)\}, b_j(i) \in B, j=1, 2, \dots, m$$

На основе наблюдений над объектами из подклассов C^+ и C^- субъект должен сформировать понятия, соответствующие подклассам C^+ и C^- . Концептуальный метод [9,11,14,34] позволяет на основе оцененных объектов построить концепты, соответствующие понятиям C^+ и C^- .

Построение концепта состоит из следующих этапов:

I. Бинаризация признаков посредством бинаризации их "пространства значений". Наиболее общим способом бинаризации можно взять разбиение множества значений на взаимодополняющие подмножества или же разбиение по "присутствию" и "отсутствию" соответствующего свойства. Т.о. объект C_i может иметь свойство A_k или $\bar{A}_k, k=1, 2, \dots, m$.

II. Перекодировка признаков и значений.

Вводятся следующие числовые множества и ал-множества:

вместо множества признаков $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} - N_A = \{1, 2, \dots, m\}$,

вместо множества значений $B = \{b_{11}, b_{12}, \dots, b_{m n_m}\} - \underline{N}_B = \left\{ \overset{\vee}{1}, \overset{\vee}{2}, \dots, \overset{\vee}{n} \right\}$,

$$\text{где } \overset{\vee}{k} = \left\{ \frac{k}{\bar{k}}, k=1, 2, \dots, n; \right.$$

вместо "траектории" $C_i = \{b_1(i), b_2(i), \dots, b_m(i)\} -$

$$\underline{N}_{C_i} = \left\{ \overset{\vee}{\alpha}_1(i), \overset{\vee}{\alpha}_2(i), \dots, \overset{\vee}{\alpha}_m(i) \right\}, \text{ где } \overset{\vee}{\alpha}_j(i) \in \underline{N}_B, j=1, 2, \dots, m.$$

III. Построение ортонормированных бинаризованных векторов состояния.

Вводится матрица V размерности $n \times m$ ($2n = 2^m$). Столбцы этой матрицы представляют собой ортонормированные векторы состояния (или фильтры) $\psi_i, i=1, 2, \dots, m$, образованные из элементов $\underline{N}_B$ (Табл.1).

IV. Операция фильтрации – проведение всех траекторий C_i через систему ортонормированных фильтров.

Каждой траектории $C_i = \left\{ \overset{\vee}{\alpha}_1(i), \overset{\vee}{\alpha}_2(i), \dots, \overset{\vee}{\alpha}_m(i) \right\}$ сопоставляется

конъюнктивное произведение ортонормированных векторов состояния

$$\varphi(C_i) = \left(\overset{\vee}{\psi}_1 \overset{\vee}{\psi}_2, \dots, \overset{\vee}{\psi}_m \right)_i, i = 1, 2, \dots, n$$

где $\overset{\vee}{\psi}_j = \psi_j$, если j -ый элемент траектории входит в вектор ψ_j в форме "присутствия", т.е. $e_j, j = 1, 2, \dots, m$

и $\overset{\vee}{\psi}_j = \bar{\psi}_j$, если j -ый элемент траектории входит в вектор ψ_j в форме "отсутствия", т.е. $\bar{e}_j, j = 1, 2, \dots, m$.

V. Операция дизъюнктивной суперпозиции.

$$\varphi_+ = \bigcup_{C_i \in C^+} \varphi(C_i) - \text{концепт понятия } C^+ \quad (1)$$

$$\varphi_- = \bigcup_{C_i \in C^-} \varphi(C_i) - \text{концепт понятия } C^- \quad (2)$$

Если число объектов, отнесенных к подклассам C^+ и C^- , достаточно велико, а сами объекты нетождественны и достаточно широко представляют соответствующие подклассы; если правильно выделено достаточное количество признаков, точно определены их множества значений и произведена "удачная" бинаризация этих множеств, то концепты φ_+ и φ_- содержат в себе всю информацию о понятиях C^+ и C^- (как о типичных, так и о редких представителях соответствующих подклассов) и не противоречат друг другу.

При достаточно больших n и m невозможно выразить полученные концепты четкими логическими формулировками. Поэтому для упрощения концепта осуществляется следующий этап.

VI. Операция условного перехода к булевым переменным.

Если в выражениях (1) и (2) каждый вектор ψ_i заменить на x_i , а $\bar{\psi}_i$ – на $\bar{x}_i$, то функционалы φ_+ и φ_- примут вид совершенных дизъюнктивных нормальных форм [10, 36]:

$$\varphi_+ = \bigvee_{I_+(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m)} x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_m^{\sigma_m}$$

$$\varphi_- = \bigvee_{I_-(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m)} x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_m^{\sigma_m}$$

N	ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_3	...	ψ_m
1	1	1	1	1		1
2	2	2	2	2		$\frac{1}{2}$
				$\vdots$		
				2^{m-3}		
				$\frac{2^{m-3}}{2^{m-3}+1}$		
				$\frac{2^{m-3}}{2^{m-3}+2}$		
				$\vdots$		
			2^{m-2}	$\frac{2^{m-2}}{2^{m-2}+1}$		
			$\frac{2^{m-2}}{2^{m-2}+1}$	$2^{m-2}+1$		
			$\frac{2^{m-2}}{2^{m-2}+2}$	$2^{m-2}+2$		
				$\vdots$		
				$2^{m-2}+2^{m-3}$		
				$\frac{2^{m-2}+2^{m-3}}{2^{m-2}+2^{m-3}+1}$		
				$\frac{2^{m-2}+2^{m-3}}{2^{m-2}+2^{m-3}+2}$		
				$\vdots$		
n	n	2^{m-1}	$\frac{2^{m-1}}{2^{m-1}+1}$	$\frac{2^{m-1}}{2^{m-1}+1}$		
$n+1$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2^{m-1}}{2^{m-1}+1}$	$2^{m-1}+1$	$2^{m-1}+1$		
$n+2$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2^{m-1}}{2^{m-1}+2}$	$2^{m-1}+2$	$2^{m-1}+2$		
				$\vdots$		
				$2^{m-1}+2^{m-3}$		
				$\frac{2^{m-1}+2^{m-3}}{2^{m-1}+2^{m-3}+1}$		
				$\frac{2^{m-1}+2^{m-3}}{2^{m-1}+2^{m-3}+2}$		
				$\vdots$		
			$2^{m-1}+2^{m-2}$	$\frac{2^{m-1}+2^{m-2}}{2^{m-1}+2^{m-2}+1}$		
			$\frac{2^{m-1}+2^{m-2}}{2^{m-1}+2^{m-2}+1}$	$2^{m-1}+2^{m-2}+1$		
			$\frac{2^{m-1}+2^{m-2}}{2^{m-1}+2^{m-2}+2}$	$2^{m-1}+2^{m-2}+2$		
				$\vdots$		
				$2^{m-1}+2^{m-2}+2^{m-3}$		
				$\frac{2^{m-1}+2^{m-2}+2^{m-3}}{2^{m-1}+2^{m-2}+2^{m-3}+1}$		
				$\frac{2^{m-1}+2^{m-2}+2^{m-3}}{2^{m-1}+2^{m-2}+2^{m-3}+2}$		
				$\vdots$		
$2n$	$\frac{1}{2^n}$	$\frac{1}{2^m}$	$\frac{1}{2^m}$	$\frac{1}{2^m}$		$\frac{1}{2^m}$

Табл. 1. Матрица V ортонормированных векторов состояния.

$$\text{где } \sigma_i = \begin{cases} 1 & \text{при } x_i \\ 0 & \text{при } \bar{x}_i \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$I_+(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m)$ – множество наборов, соответствующих траекториям подкласса C^+ ;

$I_-(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m)$ – множество наборов, соответствующих траекториям подкласса C^- .

После минимизации этих совершенных днф будет получена бинарная форма концепта [10, 36]:

$$K_+ = f^+(\xi_1^{\sigma_1}, \xi_2^{\sigma_2}, \dots, \xi_l^{\sigma_l}) = \vee \xi_1^{\sigma_1} \xi_2^{\sigma_2} \dots \xi_l^{\sigma_l},$$

где $l < m$ и через $\xi_1^{\sigma_1}, \xi_2^{\sigma_2}, \dots, \xi_l^{\sigma_l}$ переобозначены те переменные $x_i^{\sigma_i}, x_j^{\sigma_j}, \dots, x_k^{\sigma_k}$, которые остались после минимизации совершенной днф φ_+ . (Аналогичная бинарная форма будет получена и для концепта φ_-).
Остальные переменные $\xi_{l+1}, \dots, \xi_m$ несущественны в том смысле, что их значения не влияют на результат оценивания объекта.

Бинарная форма концепта K_+ содержит существенные значения существенных признаков и отображает особенности, характерные для конечного набора объектов подкласса C^+ . При достаточно больших n и m концепт K_+ будет в сжатой форме содержать то правило (в общем случае, знания), которым руководствовался оценщик при разбиении множества объектов на подклассы C^+ и C^- . Следовательно, посредством бинарного концепта K_+ могут быть оценены новые объекты, не участвовавшие в формировании концепта: для отнесения нового объекта к классу C^+ достаточно, чтобы переменные $\xi_1, \dots, \xi_l$ новой траектории принимали в точности те значения, которые зафиксированы хотя бы в одной из импликант концепта K_+ , значения переменных $\xi_{l+1}, \dots, \xi_m$ произвольны. Заметим, что бинарный концепт легко может быть представлен в виде продукционного правила.

Более того, путем розыгрыша методом Монте-Карло "искусственных траекторий", удовлетворяющих концепту K_+ (значения переменных $\xi_1, \dots, \xi_l$ фиксированы согласно K_+ , значения переменных

$\xi_{l+1}, \dots, \xi_m$ произвольны) возможны моделирование новых, ранее ненаблюдавшихся объектов, образов, состояний и имитация поведения системы.

Кроме этого, розыгрыш "траекторий" предоставляет возможность проверки соответствия концептуальной модели (т.е. концепта) изучаемому объекту. Если "искусственные траектории" противоречат реальности или иначе оцениваются экспертом, то процедура построения концепта может быть проведена заново, с учетом переоцененных "траекторий".

Может оказаться так, что новая "траектория" при оценивании ее посредством концепта, не может быть однозначно отнесена ни к подклассу C^+ , ни к подклассу C^- . В этом случае некоторые импликанты, входящие в состав концептов сравниваемых понятий, т.е. в K_+ и K_- , непротиворечивы. Причиной этого может быть недостаточное количество признаков и объектов из подклассов C^+ и C^- , несущественность выделенных признаков, недостаточно широкий спектр представителей каждого подкласса. Но даже в случае устранения этих причин проведение различных "траекторий" через фильтры может давать тождественные импликанты [11, 35]. Во избежание этого этап фильтрации может быть модифицирован следующим образом [35].

В приведенной выше процедуре построения концепта, после кодировки были получены векторы состояний $\psi_i, i = 1, 2, \dots, m$, структурно различные для разных признаков (см. табл.1). Теперь же различным признакам сопоставляются векторы состояний одинаковой структуры, т.е. состояние признака A_i будет характеризоваться вектором $\psi_i^{(l)} = (b_{i1}, \dots, b_{in})^T$ или вектором $\bar{\psi}_i^{(l)} = (b_{i,n+1}, \dots, b_{iN})^T, N = 2n$, в зависимости от наблюдаемого значения признака $A_i, i = 1, 2, \dots, m$.

Дизъюнктивное объединение описаний, относящихся к подклассу C^+ , позволяет получить совершенную днф понятия C^+ (аналогично и для понятия C^-). Минимизация совершенной днф понятий C^+ и C^- дает логическую форму этих понятий, соответствующую первому, наименее точному уровню.

Сопоставление импликант, входящих в состав концептов понятий C^+ и C^- , выявит необходимость уточнения понятий.

Если импликанты различны и противоречивы хотя бы по одному признаку, то все объекты могут быть однозначно отнесены к определенному понятию – к C^+ или C^- . Так что необходимости в уточнении нет.

Если некоторые импликанты, соответствующие различным понятиям, непротиворечивы, то должно быть произведено уточнение. Векторы состояний из первоначального набора $\psi_1^{(I)}, \bar{\psi}_1^{(I)}, \dots, \psi_m^{(I)}, \bar{\psi}_m^{(I)}$, входящие в эти импликанты, следует подвергнуть дальнейшему разбиению на основе принципа фильтрации. В результате подгруппа объектов, соответствующая рассматриваемой импликанте первого уровня, будет описываться новыми векторами состояний вида:

$\psi_{i,1}^{(II)} = (b_{i,1}, \dots, b_{i,n_1})^T$ и $\bar{\psi}_{i,1}^{(II)} = (b_{i,n_1+1}, \dots, b_{i,n})^T$, $n_1 = 2^{m-2}$ – если разбиению подвергся вектор состояния $\psi_i^{(I)}$ и

$\psi_{i,2}^{(II)} = (b_{i,n_1+1}, \dots, b_{i,n_2})^T$ и $\bar{\psi}_{i,2}^{(II)} = (b_{i,n_2+1}, \dots, b_{i,n})^T$, $n_2 = 2^{m-1} + 2^{m-2}$ – если разбиению подвергся вектор состояния $\bar{\psi}_i^{(I)}$.

Построение концептов II уровня может позволить распознать объекты, вызвавшие необходимость уточнения. Возможно, часть объектов окажется по-прежнему неотнесенной к определенному понятию. В таком случае возникает необходимость построения концепта третьего уровня для некоторых из первоначальных импликант и т.д. Процесс уточнения концепта понятия на основе фильтрации признаков завершится, когда исчезнет неоднозначность в отношении всех объектов из первоначальных наборов объектов C^+ и C^- .

Очевидно, что в случае 2^m значений будет не более m уровней концептов. На m -ом уровне объекты будут описываться одной из пар векторов состояния вида:

$$\begin{aligned} \psi_{i,1}^{(m)} &= (b_{i,1})^T, & \bar{\psi}_{i,1}^{(m)} &= (b_{i,2})^T \\ \psi_{i,2}^{(m)} &= (b_{i,3})^T, & \bar{\psi}_{i,2}^{(m)} &= (b_{i,4})^T \\ & - & - & - & - & - & - \\ \psi_{i,n}^{(m)} &= (b_{i,N+1})^T, & \bar{\psi}_{i,n}^{(m)} &= (b_{i,N})^T & N=2n=2^m \end{aligned}$$

Если же концепт m -го уровня опять-таки не в состоянии однозначно отнести "траекторию" ни к одному из понятий C^+ и C^- , это означает, что для описания

понятий C^+ и C^- недостаточно выделенных признаков, либо выделенные признаки несущественны. Следовательно, необходимо найти $m + 1, m + 2, \dots, m + k$ признаки, пополнить соответствующими значениями V -матрицу, т.е. совершить открытие в отношении объема понятия, описываемого концептом [34].

Итак, концептуальный метод формирования понятия, получая на входе оцененные "траектории", т.е. описания объектов в системе "признак $\times$ значение", посредством проведения этих "траекторий" через систему фильтров, на выходе выдает концепт соответствующего понятия в виде минимизированной днф из ортонормированных векторов состояния, элементами которых могут быть множества значений признаков. Процедура построения концепта имитирует процесс образования понятия естественным интеллектом, а сам концепт содержит полное, однозначное и компактное описание соответствующего понятия посредством существенных значений существенных признаков.

Если в качестве "траекторий" будут выступать пациенты, состояние которых будет описано совокупностью симптомов, а в качестве оценщика – врач-эксперт, ставящий тот или иной диагноз на основе знаний (как теоретических, так и практических; как формальных, так и неформальных; как объективных, так и субъективных), то в виде концепта мы получим диагностическое правило, содержащее объективно-субъективные знания врача-эксперта о соответствующем заболевании.

Каковы плюсы данного метода в случае медицинских знаний?

Во-первых, естественное для медицины описание в системе "признак $\times$ значение": каждому заболеванию будет поставлен в соответствие симптомокомплекс – совокупность существенных значений существенных признаков. Причем, в концепте будут учтены предпочтения врача-эксперта на множестве признаков: какие признаки он считает более существенными, на какие обращает большее внимание.

Во-вторых, концепт заболевания содержит как типичные картины заболевания, так и редкие.

В-третьих, концепт заболевания, посредством розыгрыша "траекторий", позволяет исследовать заболевание, давая доступ к редким "траекториям", еще не имевшим место в практике и не описанным в теории.

И, самое главное, концептуальный метод посредством четкой процедуры, поддающейся автоматизации, позволяет выявить и формализовать то самое интуитивное знание эксперта, с чем не могли справиться рассмотренные ранее другие методы приобретения и представления знаний.

Кроме извлечения и формализации интуитивных знаний врача-эксперта, в процессе медицинской диагностики возникают проблемы с неполнотой, нечеткостью, неточностью и ошибочностью знаний. Рассмотрим вкратце, как справляется концептуальный метод с этими проблемами.

Т.к. частная "траектория" удовлетворяет концепту лишь в том случае, когда существенные признаки принимают значения, зафиксированные хотя бы в одной из импликант концепта, то отсутствие информации о несущественных с точки зрения концепта признаках никак не влияет на результат оценивания. В случае существенных признаков концепт в определенной мере может работать с неполными, нечеткими и неточными данными, т.к. элементами векторов состояния, которыми описывается состояние пациента, в общем случае являются не конкретные значения, а множества значений. До тех пор, пока неполнота, нечеткость и неточность данных не препятствует однозначному выбору одного из векторов состояния ψ_i или $\bar{\psi}_i$, $i = 1, 2, \dots, m$, для описания состояния пациента, сложности с оценкой состояния пациента не возникает. В противном случае оценить состояние пациента невозможно, т.к. концептуальные знания выражены в категорической форме.

Действительно, т.к. концепт имеет вид

$$K_+ = K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_r,$$

$$\text{где } K_i = \xi_1^{\sigma_{i1}} \xi_2^{\sigma_{i2}} \dots \xi_l^{\sigma_{il}}, \quad \sigma_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } \xi_i \\ 0 & \text{при } \bar{\xi}_i \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, l, \quad i = 1, 2, \dots, r,$$

то как только значения первых l переменных "траектории" $\xi_1^{\sigma_1'} \xi_2^{\sigma_2'} \dots \xi_l^{\sigma_l'} \xi_{l+1}^{\sigma_{l+1}'} \dots \xi_m^{\sigma_m'}$ совпадут с набором значений этих переменных хотя бы в одной из импликант K_i , $i = 1, 2, \dots, r$, "траектория" однозначно (со 100% уверенностью) относится к понятию C^+ [9,10,14,33,36]. По концепту

невозможно определить, как повлияет на принятие решения отсутствие информации о значении хотя бы одного существенного признака: всего лишь снизит степень уверенности в диагнозе или почти наверняка исключит этот диагноз. Кроме того, входящие в концепт импликанты абсолютно равнозначны с точки зрения диагностической способности. Диагноз может быть поставлен по любой из импликант K_i , $i = 1, 2, \dots, r$ и степень уверенности в диагнозе для всех импликант – максимальная (100%). Это не совсем соответствует истине хотя бы потому, что, как уже было сказано, концепт содержит как типичные, так и редкие "траектории". Реально было бы предположить, что импликанты, порождающие "типичные траектории", должны характеризоваться большей степенью уверенности в диагнозе по сравнению с импликантами, порождающими "редкие, атипичные траектории".

Более того, нельзя исключить появления ошибочно оцененной "траектории" среди "траекторий", на основе которых строится концепт. Тогда то преимущество, что концепт учитывает все "траектории", на основе которых он был построен, независимо от частоты их появления, в случае ошибки оценивания превращается в минус: в концепте обязательно найдется хотя бы одна импликанта, отражающая это ошибочное оценивание, и диагноз, поставленный по ней, так же приведет к диагностической ошибке.

И все же все эти затруднения не представляются столь непреодолимыми в рамках этого метода, чтобы следовало отказаться от основной идеи – концептуального подхода к описанию состояний, формированию понятий и представлению знаний. В главе II приводится описание концептуально-вероятностного метода обработки данных, который создан на основе концептуального метода и, сочетая основные положения концептуального подхода и теории нечетких множеств, предоставляет средства для преодоления затруднений, связанных с неполнотой, нечеткостью, неточностью и некатегоричностью медицинских данных и знаний.

Выводы по главе 1.

1. Обоснована правомерность использования методов и стратегий ИИ для решения проблем медицинской диагностики.

2. Понятийное описание является универсальным языком для описания сложных систем и процессов, поэтому наличие процедуры, имитирующей процесс формирования понятий естественным интеллектом, позволит решить проблему выявления и формализации знаний эксперта, в том числе и интуитивных знаний.
3. Обосновано использование концептуального метода в качестве универсальной процедуры выявления и формализации знаний эксперта.

2. Концептуально-вероятностный метод обработки данных.

2.1. Создание и исследование признаковой системы.

Рассмотрим, какого типа признаки понадобятся для описания тех или иных медицинских данных и насколько адаптирован для них концептуальный метод.

1. Бинарные признаки.

Бинарные признаки предназначены для описания качественных симптомов, могущих иметь или не иметь место. Несмотря на разнообразие таких симптомов, на вопрос, касающийся этих симптомов, "Жалуетесь ли вы на ...?", пациенты дают единообразный ответ – либо "да", либо "нет". Поэтому мы вполне можем все подобные симптомы описывать бинарными признаками, принимающими 2 значения:

1 – в случае присутствия соответствующего симптома,

0 – в случае отсутствия соответствующего симптома.

При применении концептуального метода такому бинарному признаку A_i сопоставляются векторы состояния $\psi_i = (1)$ и $\bar{\psi}_i = (0)$, и последующие уточнения концепта невозможны.

2. Многозначные дискретные признаки.

Многозначные дискретные признаки предназначены для описания симптомов, могущих принимать одно из нескольких значений как числовых, так и символьных. Количество значений конечно и они являются взаимоисключающими: для каждого пациента признак принимает только одно значение и наличие одного значения полностью исключает наличие других значений.

Процесс кодировки таких значений и проведения их через систему фильтров подробно рассмотрен в предыдущей главе, в описании концептуального метода. Здесь еще раз отметим, что значения в количестве 2^m позволяют осуществить m уровней уточнения концепта.

Если для каждого пациента признак A_i принимает несколько значений (множество значений) и наличие одного значения никак не исключает наличие другого значения, то мы имеем дело либо с какой-нибудь

разновидностью неопределенных данных (неточные, нечеткие, ошибочные, неполные), либо с неудачно сформулированным признаком.

Т.к. концептуальный метод может быть применен, если только состояние пациента однозначно описывается одним из векторов состояния ψ_i или $\bar{\psi}_i$, то здесь могут возникнуть затруднения.

В частном случае, когда множество значений, принимаемых признаком A_i для одного пациента, является подмножеством одного из векторов состояния, однозначное описание возможно.

Действительно, пусть

$A'_i = \{b_{ij_1}, \dots, b_{ij_k}\}$ – множество значений, одновременно принимаемых признаком A_i для некоторого пациента,

$\psi_i = (b_{i1}, \dots, b_{in})^T$ и $\bar{\psi}_i = (b_{i,n+1}, \dots, b_{iN})^T$, $N = 2n = 2^m$ – соответствующие признаку A_i векторы состояния.

Тогда

если $A'_i \subset \{b_{i1}, \dots, b_{in}\}$, то состояние описывается вектором ψ_i ,

если $A'_i \subset \{b_{i,n+1}, \dots, b_{iN}\}$, то состояние описывается вектором $\bar{\psi}_i$.

Но в общем случае, когда A'_i не является подмножеством ни одного из векторов состояния, одним из выходов является переопределение признака. Исходный признак должен быть разбит на такие признаки, которые позволяли бы однозначное описание через векторы состояния. Например, каждое значение b_{ij} , $j=1, 2, \dots, N$ признака A_i можно рассматривать как отдельный симптом, могущий иметь или не иметь места, которому сопоставляется бинарный признак

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{в случае присутствия значения } b_{ij} \\ 0 & \text{в случае отсутствия значения } b_{ij} \end{cases} \quad j=1, 2, \dots, N$$

с векторами состояния ψ_{ij} и $\bar{\psi}_{ij}$, $j=1, 2, \dots, N$.

Тогда если признак A_i для некоторого пациента принимает множество значений $A'_i = \{b_{ij_1}, \dots, b_{ij_k}\}$, то его состояние в системе бинарных признаков $B_{i1} \dots B_{iN}$ будет описано как

$$\psi_{ij_1} \dots \psi_{ij_k} \bar{\psi}_{ij_{k+1}} \dots \bar{\psi}_{ij_k}.$$

3. Многозначные непрерывные признаки.

Многозначные непрерывные признаки предназначены для описания числовых симптомов, могущих принимать значения из некоторого интервала. В этом случае векторы состояния сопоставляются не множествам элементов, а числовым интервалам.

Если областью значений признака A_i является интервал $[a_i, b_i]$, то векторам состояния будут сопоставлены

$$\begin{aligned} \text{на I уровне: } \psi_i^{(I)} &= \left[a_i, \frac{a_i + b_i}{2} \right], & \bar{\psi}_i^{(I)} &= \left[\frac{a_i + b_i}{2}, b_i \right] \\ \text{на II уровне: } \psi_{i1}^{(II)} &= \left[a_i, \frac{3a_i + b_i}{4} \right], & \bar{\psi}_{i1}^{(II)} &= \left[\frac{3a_i + b_i}{4}, \frac{a_i + b_i}{2} \right], \\ \psi_{i2}^{(II)} &= \left[\frac{a_i + b_i}{2}, \frac{a_i + 3b_i}{4} \right], & \bar{\psi}_{i2}^{(II)} &= \left[\frac{a_i + 3b_i}{4}, b_i \right] \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Интервалы, сопоставляемые векторам состояния на каждом уровне, являются половинками интервала – вектора состояния предыдущего уровня, подвергшегося разбиению. В отличие от многозначного дискретного признака, конечное число значений которого накладывало ограничение на количество уровней уточнения концепта, в случае многозначного непрерывного признака количество уровней уточнения концепта, вообще говоря, не ограничено.

Многозначный непрерывный признак также может принимать не одно значение, а некоторый подинтервал области значений. Признак, принимающий "интервальные" значения, предназначен для описания неточных и нечетких числовых симптомов, принимающих то или иное значение с точностью до некоторого интервала.

Опять-таки, применение концептуального метода возможно, если "интервальные" значения признака, принимаемые на множестве пациентов, всегда являются подмножествами того или иного вектора состояния.

В противном случае область значений $[a_i, b_i]$ многозначного непрерывного признака следует разбить на "элементарные" интервалы $[a_i^1, a_i^2], [a_i^2, a_i^3] \dots [a_i^N, b_i]$ таким образом, чтобы все "интервальные" значения, принимаемые на множестве пациентов, могли быть выражены как объединение конечного числа "элементарных" интервалов:

$$A_i' = [a_i^k, a_i^l] = [a_i^k, a_i^{k+1}] \cup [a_i^{k+1}, a_i^{k+2}] \cup \dots [a_i^{l-1}, a_i^l]$$

Тогда каждый "элементарный" интервал можно рассмотреть как бинарный признак

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{в случае присутствия интервала } [a_i^j, a_i^{j+1}] \\ 0 & \text{в случае отсутствия интервала } [a_i^j, a_i^{j+1}] \end{cases} \quad j=1, \dots, N,$$

каждому из которых сопоставлены векторы состояния ψ_{ij} и $\bar{\psi}_{ij}$, $j=1, 2, \dots, N$.

Если признак A_i принимает значение A_i' ,

$$A_i' = [a_i^k, a_i^l] = [a_i^k, a_i^{k+1}] \cup [a_i^{k+1}, a_i^{k+2}] \cup \dots \cup [a_i^{l-1}, a_i^l]$$

то состояние пациента в системе бинарных признаков $B_{i1} \dots B_{iN}$ будет описано как

$$\bar{\psi}_{i1} \dots \bar{\psi}_{i,k+1} \psi_{ik} \dots \psi_{i,l-1} \bar{\psi}_{i,l} \dots \bar{\psi}_{i,N}$$

4. Лингвистические признаки.

Лингвистические признаки предназначены для описания нечетких симптомов. Нечеткость этих симптомов обусловлена либо тем, что их значения выражены понятиями, либо неточностью измерения, неполнотой и неопределенностью данных.

Для описания таких признаков могут быть применены рассмотренные в разделе 1.2 лингвистические переменные. Это может быть либо переменная вида $(\mathcal{X}, T(\mathcal{X}), U, G, M)$, где каждый терм (значение переменной) $X \in T(\mathcal{X})$ явно задается как нечеткое множество, определенное на числовом множестве U . В случае, когда значения лингвистической переменной не могут быть заданы через числовые множества, переменная задается посредством перечисления своих значений – элементов терм-множества: $(\mathcal{X}, T(\mathcal{X}))$.

Концептуальный метод может быть применен и к лингвистическим переменным, т.к. после кодировки их значений мы получаем аналог многозначного дискретного признака, для которого справедливы все замечания из пункта 2.

Но и в случае кодировки термов, и в случае разбиения исходного признака на бинарные признаки теряется часть информации, точнее, игнорируется нечеткость значений. В случае нечетких значений наличие одного значения лишь в определенной мере исключает наличие другого значения, возможно, в настолько малой мере, что при приближенных

рассуждениях наличие одного значения мы понимали бы как подтверждение наличия другого значения.

Кроме того, раз значения лингвистического признака выражены понятиями, то они могут образовывать иерархию: на более высоком уровне более общее понятие, являющееся обобщением своих дочерних вершин, и наличие какого-то понятия не исключает, а, наоборот, подтверждает наличие его обобщения.

Рассмотрим более подробно этот вопрос.

2.2. Алгоритм унификации факторов.

Как уже было сказано, при описании состояния пациента кроме обилия признаков мы сталкиваемся с их большим разнообразием. В такой ситуации встает задача: как все это разнообразие признаков свести к одному виду без потери информации, делаящему возможным построение "концепта". И как уже было показано, одним из выходов в этой ситуации является бинаризация признаков: каждое значение $b_{ij}, j=1,2,\dots,N$ признака A_i рассматривается как бинарный признак

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{в случае присутствия значения } b_{ij} \\ 0 & \text{в случае отсутствия значения } b_{ij} \end{cases} \quad j=1,2,\dots,N$$

а состояние пациента с точки зрения признака A_i в системе бинарных признаков будет описываться "траекторией"

$$\psi_{i1}^{\sigma_1} \dots \psi_{iN}^{\sigma_N}, \quad \sigma_j = \begin{cases} 1 & \text{при } \psi_{ij} \\ 0 & \text{при } \bar{\psi}_{ij} \end{cases} \quad j=1,\dots,N,$$

где ψ_{ij} и $\bar{\psi}_{ij}$ – векторы состояния, соответствующие бинарному признаку $B_{ij}, j=1,\dots,N$.

Однако. в случае лингвистического признака, значения которого образуют дерево понятий, в котором дочерние вершины являются конкретизациями более общего понятия, представленного родительской вершиной, при такой бинаризации происходит потеря информации [37, 38].

Действительно, пусть A и C – значения лингвистического признака $\mathcal{L}$, причем C – конкретизация понятия A (Рис.4), а B_A и B_C – соответствующие бинарные признаки. Если признак $\mathcal{L}$ принимает значение C , то при бинаризации:

$$B_C = 1 \text{ (присутствие значения } C)$$

$$B_A = 0 \text{ (отсутствие значения } A) .$$

Однако, если имеет место конкретизация, то имеет место и его обобщение, т.е.

$$\text{если } \mathcal{L} = C, \text{ то } B_C = 1 \text{ и } B_A = 1.$$

Вообще, между присутствием (отсутствием) понятия и присутствием (отсутствием) его конкретизации существуют следующие зависимости:

1. Если имеет место конкретизация, то имеет место и его обобщение.
2. Если имеет место общее понятие, то ничего неизвестно о его конкретизации.
3. Если отсутствует общее понятие, то отсутствует и его конкретизация.
4. Если отсутствует конкретизация, то ничего неизвестно о его обобщении.

На основе вышеперечисленных зависимостей и дерева понятий могут быть составлены формальные правила триплетизации лингвистического признака, позволяющие по присутствию какой-нибудь одной вершины дерева судить о значении (присутствие, отсутствие или неопределенность) для любой вершины дерева понятий.

Вот эти формальные правила [37, 38, 39]:

Пусть $\mathcal{L}$ – лингвистический признак, значения $L_i, i = 1, \dots, N$ которого могут быть представлены в виде дерева понятий, причем, дочерние вершины являются взаимоисключающими конкретизациями более общего понятия, представленного родительской вершиной (т.е. каждая родительская вершина является ИЛИ-вершиной). Каждому значению L_i лингвистического признака $\mathcal{L}$ поставим в соответствие триплетный признак T_{L_i} , могущий принимать следующие значения:

$$T_{L_i} = \begin{cases} 0 & \text{(отсутствие значения } L_i) \\ 1 & \text{(присутствие значения } L_i) \\ 2 & \text{(неопределенность, неизвестно, имеет место} \\ & \text{присутствие или отсутствие значения } L_i) \end{cases}$$

Пусть A, B, C, D, E – некоторые вершины дерева понятий (т.е. некоторые значения лингвистического признака $\mathcal{L}$), а T_A, T_B, T_C, T_D, T_E –

соответствующие этим значениям триплетные признаки, и известно, что $\mathcal{L} = C$, т.е. $T_C = 1$ (Рис.4).

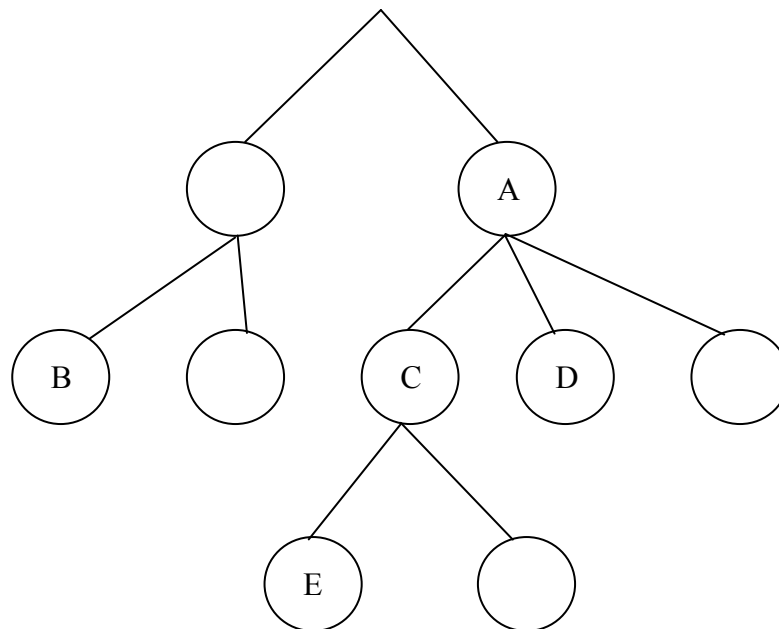


Рис. 4. Дерево понятий иерархического признака

Тогда значения триплетных признаков, соответствующих остальным вершинам, будут определяться следующим образом [37, 38, 39]:

1. Если искомая вершина – одного уровня с C и с общей родительской вершиной, например, вершина D на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_D = 0$ (отсутствие значения D).

2. Если искомая вершина – родительская вершина вершины C , например, вершина A на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_A = 1$ (присутствие значения A).

3. Если искомая вершина – дочерняя вершина вершины C , например, вершина E на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_E = 2$ (неопределенность, не знаем, значение E присутствует или отсутствует).

4. Во всех остальных случаях, например, вершина B на Рис. 4, имеем

если $T_C = 1$, то $T_B = 0$ (отсутствие значения B).

Т.о. при определении значений триплетных признаков зависимости между присутствием (отсутствием) понятия и присутствием (отсутствием) его конкретизации позволяют нам двигаться по дереву в вертикальном направлении, тогда как взаимоисключаемость дочерних вершин обеспечивает переходы в горизонтальном направлении.

Несколько иная ситуация в том случае, когда дочерние вершины не являются взаимоисключающими и присутствие одной из дочерних вершин с общей родительской вершиной никак не проясняет ситуацию с другими дочерними вершинами (т.е. горизонтальные переходы не определены, можем двигаться только в вертикальном направлении). Соответственно правила триплетизации немного меняются [37, 38]:

Пусть известно, что $\mathcal{L} = C$, т.е. $T_C = 1$, тогда:

1. Если искомая вершина – одного уровня с C и с общей родительской вершиной, например, вершина D на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_D = 2$ (неопределенность).

2. Если искомая вершина – родительская вершина вершины C , например, вершина A на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_A = 1$ (присутствие значения A).

3. Если искомая вершина – дочерняя вершина вершины C , например, вершина E на Рис. 4, тогда

если $T_C = 1$, то $T_E = 2$ (неопределенность)

4. Во всех остальных случаях, например, вершина B на Рис. 4, имеем

если $T_C = 1$, то $T_B = 2$ (неопределенность).

Заметим, что эти правила выведены для частного случая – "четкого" дерева понятий. Такое дерево сопоставляется лингвистическому признаку, выраженному лингвистической переменной ($\mathcal{L}$, $T(\mathcal{L})$), которая задана посредством перечисления элементов терм-множества $T(\mathcal{L})$. Каждый элемент терм-множества – это нечеткое понятие, которое не описано посредством нечетких подмножеств числового множества. В этом случае мы никак не можем вычислить степень, с которой одно значение "исключает" другое. Единственное, что мы можем сделать, – сопоставить этой переменной дерево понятий, в котором вершины априори являются либо абсолютно взаимоисключающими (ИЛИ-дерево), либо информация о взаимоисключаемости абсолютно не определена (И-дерево).

В общем случае, когда значения лингвистического признака $(\mathcal{L}, T(\mathcal{L}), U, G, M)$ заданы как нечеткие подмножества числового множества, то их трудно представить в виде дерева понятий: в силу нечеткости значений $L_i, i = 1, \dots, N$, каждое понятие может быть конкретизацией не одной, а нескольких вершин, да и вершины одного уровня с общей родительской вершиной могут быть или не быть "взаимоисключающими" только до определенной степени. Тут мы не можем двигаться ни в горизонтальном, ни в вертикальном направлении. В этом случае зависимость между присутствием (отсутствием) двух понятий определяется на основе степени включения для нечетких множеств.

Это делается следующим образом [37, 38, 39]:

Пусть A и B – два значения лингвистического признака $\mathcal{L}$, а T_A и T_B – соответствующие этим значениям триплетные признаки.

$$\begin{aligned} A &= \{\mu_A(u)/u\}, \quad u \in U \\ B &= \{\mu_B(u)/u\}, \quad u \in U \end{aligned} \quad \text{– нечеткие множества, описывающие значения } A \text{ и } B$$

соответственно, т.е. их присутствие.

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \{\mu_{\bar{A}}(u)/u\}, \quad \mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u), \quad u \in U \\ \bar{B} &= \{\mu_{\bar{B}}(u)/u\}, \quad \mu_{\bar{B}}(u) = 1 - \mu_B(u), \quad u \in U \end{aligned} \quad \text{– дополнения нечетких множеств } A \text{ и } B$$

B соответственно, описывающие их отсутствие.

Пусть $\mathcal{L} = A$, т.е. $T_A = 1$ и мы хотим определить значение признака T_B . Вычислим

$\nu(A, B)$ – степень включения нечеткого множества A в нечеткое множество B

и

$\nu(A, \bar{B})$ – степень включения нечеткого множества A в нечеткое множество $\bar{B}$

[1,17,22,23]:

$$\nu(A, B) = \bigwedge_{u \in U} (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(u)),$$

$$\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(u) = (1 - \mu_A(u)) \vee \mu_B(u).$$

Тогда положим [37, 38, 39]:

если $\nu(A, B) > \nu(A, \bar{B})$, то $T_B = 1$ (присутствие значения B)

если $\nu(A, B) < \nu(A, \bar{B})$, то $T_B = 0$ (отсутствие значения B) (1)

если $\nu(A, B) = \nu(A, \bar{B})$, то $T_B = 2$ (неопределенность, неизвестно, имеет

место B или $\bar{B}$).

В результате мы получаем попарные зависимости между присутствием (отсутствием) двух любых значений лингвистического признака $\mathcal{L}$, что позволит провести триплетизацию этого признака без потери информации. Более того, в случае недостаточной информации о пациенте мы можем по присутствию какого-нибудь симптома судить о присутствии или отсутствии другого симптома, что позволит пополнить базу данных и ослабит влияние неполноты данных на этапе постановки диагноза.

2.3. Свойство существенности и свойство дифференциации диагностических критериев.

Мы рассмотрели признаки с точки зрения их формального описания. Теперь же рассмотрим их с диагностической точки зрения.

Как уже было отмечено, большое количество признаков, подлежащих учету, вынуждает врача разбить их на классы: "специфические / неспецифические", "типичные / редкие", "существенные / несущественные" и т.д.

Специфические симптомы – это симптомы, присущие данному заболеванию и практически не встречающиеся при других заболеваниях. Если мы имеем два множества пациентов: C^+ – пациенты, удовлетворяющие данному диагнозу, и C^- – пациенты, не удовлетворяющие данному диагнозу, то относительная частота появления специфических для заболевания C^+ симптомов на множестве C^+ будет намного выше, чем на множестве C^- [18, 20].

Неспецифические симптомы – это симптомы, которые могут встречаться при различных заболеваниях. Но каждое заболевание характеризуется каким-то определенным, присущим только ему, сочетанием этих симптомов. Относительная частота появления каждого из этих симптомов на множествах C^+ и C^- примерно одинакова, но определенный комплекс неспецифических симптомов будет давать высокую частоту на множестве C^+ [18, 20].

Типичные симптомы – наиболее часто встречающиеся при данном заболевании. Относительная частота типичного для заболевания C^+ симптома на множестве C^+ будет высокой, близкой к 1.

Редкие симптомы – их относительная частота на множестве C^+ будет близка к 0.

Существенные симптомы – это симптомы, почти достоверно подтверждающие или опровергающие диагноз. Фактически, именно эти симптомы являются критериями отнесения пациентов к множеству C^+ или к множеству C^- . Поэтому существенные для заболевания C^+ симптомы будут обладать либо достаточно высокой (близкой к 1) относительной частотой – подтверждающие симптомы, либо достаточно низкой частотой (близкой к 0) – опровергающие симптомы [18, 20].

Наличие или отсутствие несущественных симптомов не оказывает особого влияния на постановку диагноза, поэтому относительная частота этих симптомов на множестве C^+ будет колебаться около значения 0,5.

Очевидно, классы существенных / несущественных симптомов будут пересекаться с классами специфических / неспецифических и типичных / редких симптомов.

Итак, если мы имеем два множества пациентов: C^+ – пациенты, отнесенные к данному заболеванию, и C^- – пациенты, не отнесенные к данному заболеванию, то симптомы из различных классов будут характеризоваться различной относительной частотой появления на множествах C^+ и C^- .

На самом деле относительная частота позволяет классифицировать симптомы как "существенные" и "несущественные", где "существенность" – это уже комплексная оценка симптома с точки зрения и существенности, и специфичности, и типичности, и других критериев, которыми пользовался врач при постановке диагноза. Относительные частоты симптомов – это некое отображение результата наложения на объективную картину заболевания субъективности, которую несет в себе акт оценивания состояний врачом; это, в определенной мере, отражение видения заболевания, присущее данному врачу, в частности, отражение объективно-субъективных предпочтений врача-эксперта на множестве симптомов с точки зрения комплексной "существенности" (в дальнейшем будем писать без кавычек). Введем свойство существенности [37, 40, 41].

Пусть $\{L_1, \dots, L_n\}$ – множество значений, принимаемых признаками A_j , $j=1, \dots, m$, а T_i , $i=1, \dots, n$ – триплетные признаки, соответствующие этим значениям и полученные в результате унификации признаков A_j , $j=1, \dots, m$.

Состояние каждого пациента в системе триплетных признаков представляется как последовательность 0, 1 и 2. Введем свойство существенности для векторов состояния ψ_i и $\bar{\psi}_i$ каждого триплетного признака $T_i, i=1, \dots, n$.

Для каждого триплетного признака $T_i, i=1, \dots, n$ вычислим относительные частоты $P_i(1)$ и $P_i(0)$ на множестве C^+ и установим:

если частота $P_i(1) \geq 0,75$, то существенным является вектор ψ_i (присутствие соответствующего значения L_i), а величиной его свойства существенности положим

$$P(\psi_i) = P_i(1); \quad (2)$$

если частота $P_i(0) \geq 0,75$, то существенным является вектор $\bar{\psi}_i$ (отсутствие соответствующего значения L_i), а величиной его свойства существенности положим

$$P(\bar{\psi}_i) = P_i(0); \quad (3)$$

Если частота $P_i(1) < 0,75$ и $P_i(0) < 0,75$, то оба вектора $\psi_i, \bar{\psi}_i$ несущественны.

В результате построения "концепта" на основе множества пациентов C^+ мы получаем диагностическое правило вида

$$K_+ = K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_r,$$

$$K_i = \xi_1^{\sigma_{i1}} \xi_2^{\sigma_{i2}} \dots \xi_l^{\sigma_{il}}, \quad \sigma_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } \xi_i \\ 0 & \text{при } \bar{\xi}_i \end{cases} \quad j=1, 2 \dots l,$$

Где через $\xi_1^{\sigma_1}, \xi_2^{\sigma_2}, \dots, \xi_l^{\sigma_l}$ переобозначены те $\psi_{i_1}^{\sigma_1}, \psi_{i_2}^{\sigma_2}, \dots, \psi_{i_l}^{\sigma_l}$, которые остались после минимизации.

Частный "концепт" K_i , содержащий существенные (с точки зрения частоты) переменные, скорее всего, является "стереотипным" диагностическим правилом, которому удовлетворяет большая часть пациентов и которое позволяет определить диагноз с высокой степенью уверенности в нем. Так как "концепт" K_+ содержит полную информацию, в том числе и редкие "траектории" заболевания, не все параметры $\xi_j^{\sigma_j}, j=1, 2, \dots, l$, входящие в "концепт", будут обладать большой величиной свойства существенности. Частные "концепты", содержащие параметры $\xi_j^{\sigma_j}, j=1, 2, \dots, l$ с малой величиной свойства существенности, скорее всего описывают редкие, возможно, атипичные картины заболевания и охватывают незначительную часть множества пациентов C^+ .

Из этого видно, что не только симптомы, но и диагностические правила обладают свойством существенности. Введем свойство существенности для диагностического правила [37, 40, 41, 42].

Пусть диагностическое правило строится на основе $N + M$ пациентов, где N – количество пациентов, отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^+), M – количество пациентов, не отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^-), N_i – количество пациентов из множества C^+ , удовлетворяющих диагностическому правилу K_i , $N_i \leq N$.

Тогда свойство существенности $P(K_i)$ диагностического правила K_i определяется как

$$P(K_i) = \frac{N_i}{N} \quad (4)$$

Фактически, свойство существенности $P(K_i)$ – это область охвата правила K_i .

Вернемся к симптомам. Нередко относительная частота симптома на множестве C^+ является результатом случайности, недостаточно широкого спектра пациентов или отображением некоторой закономерности, характеризующей все множество пациентов $C^+ \cup C^-$, а не данное заболевание C^+ . Такие симптомы отличаются от симптомов, существенных для данного заболевания, тем, что если истинно существенные для C^+ симптомы редко проявляются у пациентов множества C^- , то якобы существенные симптомы характеризуются примерно такой же частотой на множестве C^- , что и на множестве C^+ . Для различия этих симптомов введем свойство дифференциации [37, 40, 42].

Для каждого триплетного признака $T_i, i=1, \dots, n$ вычислим относительные частоты $D_i(0)$, $D_i(1)$ и $D_i(2)$ на множестве C^- и установим величиной свойства дифференциации

$$\begin{aligned} D(\psi_i) &= D_i(0) + D_i(2) - \text{для параметра } \psi_i \\ D(\bar{\psi}_i) &= D_i(1) + D_i(2) - \text{для параметра } \bar{\psi}_i \end{aligned} \quad (5)$$

Такое определение свойства дифференциации представляется вполне оправданным. Если "концепт" содержит параметр ψ_i , то чем больше

$D(\psi_i) = D_i(0) + D_i(2)$, тем больше "неподходящих" пациентов отсеет "концепт" благодаря этому параметру (аналогично и для $\bar{\psi}_i$).

Для диагностического правила K_i свойство дифференциации определим следующим образом [37, 40, 42].

Опять-таки, пусть диагностическое правило строится на основе $N + M$ пациентов, где

N – количество пациентов, отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^+),

M – количество пациентов, не отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^-),

M_i – количество пациентов из множества C^- , "отсеянных" диагностическим правилом K_i , $M_i \leq M$.

Тогда свойство дифференциации $D(K_i)$ диагностического правила K_i определяется как

$$D(K_i) = \frac{M_i}{M} \quad (6)$$

Величину $D(K_i)$ можно принять за степень уверенности в диагнозе, поставленном по правилу K_i .

Правила, входящие в "концепт" $K_+ = K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_r$, характеризуются неравными областями охвата и степенями уверенности в диагнозе, а значит, и диагностической способностью. Так как диагностическая способность правила зависит от обоих этих критериев. Мерой диагностической способности правила K_i мы могли бы взять величину [40]

$$P(K_i) \cdot D(K_i) \quad (7)$$

Свойства существенности и дифференциации правила зависит от свойств существенности и дифференциации параметров, входящих в это правило. Диагностическое правило, содержащее параметры $\psi_i^{\sigma_i}$ с высоким показателем свойства существенности, скорее всего будет обладать большей областью охвата, чем правило, содержащее параметры $\psi_i^{\sigma_i}$ с низким показателем свойства существенности.

Если рассмотреть не все множество параметров $\psi_i^{\sigma_i}$, $i = 1, \dots, n$, а лишь множество существенных параметров и среди них выявить т. наз. "существенные" сочетания

$$K_j = \psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \psi_{i_2}^{\sigma_{i_2}} \dots \psi_{i_j}^{\sigma_{i_j}}, \quad j = 1, 2, \dots, s$$

с высоким показателем свойства существенности, например,

$$P(K_j) \geq 0,75, \quad j = 1, 2, \dots, s$$

то тем самым мы найдем диагностические правила, которым удовлетворяет большинство пациентов. Каждое K_j , $P(K_j) \geq 0,75$ является "стереотипным" правилом и является описанием "типичной" картины данного заболевания в представлении данного врача-эксперта.

Именно эта идея выявления существенных сочетаний существенных параметров и лежит в основе концептуально-вероятностного метода обработки данных, который рассматривается в следующем разделе.

2.4. Концептуально-вероятностный метод обработки данных.

Построение базы знаний – "концепта" заболевания.

Пусть концепт строится на основе $N + M$ пациентов, где N – количество пациентов, отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^+), M – количество пациентов, не отнесенных экспертом к данному заболеванию (т.е. количество пациентов в множестве C^-) $\{L_1, \dots, L_n\}$ – множество значений, принимаемых признаками A_j , $j=1, \dots, m$, а T_i , $i=1, \dots, n$ – триплетные признаки, соответствующие этим значениям и полученные в результате унификации признаков A_j , $j=1, \dots, m$. Состояние каждого пациента описывается триплетными признаками T_i , $i=1, \dots, n$, каждому из которых сопоставлены векторы состояния (параметры) ψ_i и $\bar{\psi}_i$, характеризующиеся свойством существенности $P(\psi_i)$, $P(\bar{\psi}_i)$ и свойством дифференциации $D(\psi_i)$, $D(\bar{\psi}_i)$, величины которых установлены согласно (2), (3), (5).

Концептуально-вероятностный метод обработки данных состоит в следующем [41]:

1. Выбор существенных параметров триплетных признаков – т. наз. "базиса"

$$\Psi = \{\psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}}, \dots, \psi_{i_l}^{\sigma_{i_l}}\} :$$

если величина свойства существенности $P(\psi_i) \geq 0,75$, то существенным считается параметр ψ_i (присутствие соответствующего значения L_i) – $\psi_i \in \Psi$;

если величина свойства существенности $P(\bar{\psi}_i) \geq 0,75$, то существенным считается параметр $\bar{\psi}_i$ (отсутствие соответствующего значения L_i) – $\bar{\psi}_i \in \Psi$;

если $P(\psi_i) < 0,75$ и $P(\bar{\psi}_i) < 0,75$, то оба параметра ψ_i , $\bar{\psi}_i$ считаются несущественными: $\psi_i \notin \Psi$, $\bar{\psi}_i \notin \Psi$.

2. Выбор существенных сочетаний $S = \bigcup (\psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \psi_{i_2}^{\sigma_{i_2}} \dots \psi_{i_k}^{\sigma_{i_k}})$ существенных параметров из "базиса" Ψ , где

$$P(\psi_{i_j}^{\sigma_{i_j}}) \geq 0,75, \quad j = 1, 2, \dots, k \text{ – свойство существенности каждого параметра,}$$

входящего в сочетание, больше или равно 0,75

и

$$P(\psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \psi_{i_2}^{\sigma_{i_2}} \dots \psi_{i_k}^{\sigma_{i_k}}) \geq 0,75 \text{ – свойство существенности каждого сочетания из}$$

множества S больше или равно 0,75.

Величина свойства существенности сочетания $K_j = \psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \psi_{i_2}^{\sigma_{i_2}} \dots \psi_{i_k}^{\sigma_{i_k}}$, $j = 1, \dots, s$ определяется согласно (4).

На этом шаге мы встречаемся с определенными трудностями. Естественно предположить следующую процедуру: вычисляем величины существенности для всевозможных пар параметров из "базиса" Ψ и оставляем те, у которых величина существенности $\geq 0,75$; затем вычисляем величины существенности для всевозможных троек параметров из "базиса" Ψ и оставляем те, у которых величина существенности $\geq 0,75$ и т.д. до тех пор, пока для некоторого k_0 всевозможные сочетания из k_0 параметров не дадут величины существенности $< 0,75$. При большом количестве признаков число сочетаний, которые должны

быть проверены, очень велико, что делает эту процедуру практически непригодной.

Из этого возможен следующий выход [41]. Вместо того, чтобы рассматривать все "пространство сочетаний", мы посредством метода Монте-Карло [43, 44], разыграем конечное число "траекторий": в качестве случайных событий будут выступать существенные параметры $\psi_i^{\sigma_i} \in \Psi$ из "базиса", а в качестве вероятностей – величины их свойства существенности. При этом наиболее часто будут выпадать сочетания с большей величиной существенности, что нам и нужно. Т.о. при помощи метода Монте-Карло мы избавим себя от необходимости рассматривать сочетания параметров с малыми величинами свойства существенности.

В результате множество существенных сочетаний S фактически содержит диагностические правила K_j , $j = 1, \dots, s$, каждое из которых является конъюнкцией существенных параметров и каждому из которых удовлетворяет не менее 75% пациентов из множества C^+ . При условии, что множество C^+ было достаточно полным и отображало весь спектр возможных состояний, мы можем быть уверены, что любой пациент с данным заболеванием будет удовлетворять хотя бы одному правилу из множества S . Однако высокая точность отсеивания правилом K_j "неподходящих" пациентов никак не обеспечивается вышеупомянутой процедурой.

Для усиления дифференцирующего свойства диагностических правил предлагается следующее [37, 40, 42]. Ранее каждое K_j мы получали, разыгрывая "траектории" методом Монте-Карло, где в качестве событий брались существенные параметры $\psi_i^{\sigma_i} \in \Psi$, а в качестве вероятностей фигурировали величины свойства существенности $P(\psi_i^{\sigma_i})$ этих параметров. Тем самым мы получали наилучшие с точки зрения существенности правила K_j . Если же для каждого существенного параметра $\psi_i^{\sigma_i} \in \Psi$ в качестве вероятностей для розыгрыша мы возьмем величину $P(\psi_i^{\sigma_i}) \cdot D(\psi_i^{\sigma_i})$, то получаемые в результате розыгрыша K_j будут наилучшими не только с точки зрения существенности, но и с точки зрения свойства дифференциации. Точнее, согласно (7) они будут обладать наилучшей диагностической способностью.

Как уже было сказано, величину свойства дифференциации $D(K_j)$ правила K_j примем за степень уверенности в диагнозе, поставленном по правилу K_j [37, 40, 42]. Теперь, при составлении "концепта", среди полученных в результате розыгрыша правил предпочтительнее будут те K_j , у которых степень уверенности выше. Входящие в "концепт" $K = K_{i_1} \vee K_{i_2} \vee \dots \vee K_{i_r}$ правила будут иметь, вообще говоря, разные степени уверенности, которые, однако, не будут ниже установленного нами (и устраивающего нас) порога.

Если ни одно из существенных сочетаний множества S не характеризуется нужной величиной степени уверенности, это значит, что мы взяли слишком высокий порог для свойства существенности – $P \geq 0,75$.

$P \geq 0,75$ значит, что каждому сочетанию из множества S удовлетворяет более чем 75% пациентов и лишь 25% пациентов не укладывается в эту картину. Такое может происходить при заболевании, характеризующемся высокой "гомогенностью" картины заболевания и отсутствием редких, атипичных состояний.

Очевидно, что различные заболевания характеризуются различной (и неизвестной нам) степенью "гомогенности" состояний. Что произойдет, если порог существенности несоответственно высок для данного уровня "гомогенности" состояний? В этом случае существенные сочетания из множества S будут содержать слишком общие симптомы, характерные для всех подклассов состояний, а специфичные для каждого подкласса симптомы, за счет которых и происходит отсев "неподходящих" состояний, будут утеряны. Выходом из этого является понижение порога существенности, например, до $P \geq 0,65$, что позволит повысить степень уверенности для существенных сочетаний из множества S .

3. Упрощение диагностических правил – существенных сочетаний из множества S .

В результате розыгрыша каждое диагностическое правило $K_j \in S$, $j = 1, \dots, s$ может содержать параметры, соответствующие разноуровневым значениям одного и того же лингвистического признака. При этом если одно из этих значений является обобщением другого, то одно из них может быть удалено. Полученное в результате этого упрощенное

диагностическое правило будет обладать такими же величинами свойств существенности и дифференциации, что и исходное правило.

Действительно, если понятие A является обобщением понятий $B_1, \dots, B_t$, то, согласно зависимости между присутствием (отсутствием) понятия и присутствием (отсутствием) его обобщения, справедливы следующие положения:

- 1) если имеет место какое-нибудь одно из понятий $B_1, \dots, B_t$, то имеет место и обобщенное понятие A ,
но если имеет место понятие A , то ничего неизвестно о присутствии (отсутствии) понятий $B_1, \dots, B_t$;
- 2) если отсутствует понятие A , то отсутствуют все его конкретизации $B_1, \dots, B_t$,
но если отсутствует какое-нибудь из понятий $B_1, \dots, B_t$, то ничего неизвестно о присутствии (отсутствии) обобщенного понятия A .

Символически эти положения можно записать так:

$$1) \quad C_A \supseteq C_{B_1} \cup C_{B_2} \cup \dots \cup C_{B_t} \quad (8)$$

где C_A – множество пациентов, имеющих симптом A ,

C_{B_i} – множество пациентов, имеющих симптом $B_i, i = 1, \dots, t$

$$2) \quad C_{\bar{A}} \subseteq C_{\bar{B}_1} \cap C_{\bar{B}_2} \cap \dots \cap C_{\bar{B}_t} \quad (9)$$

где $C_{\bar{A}}$ – множество пациентов, у которых отсутствует симптом A ,

$C_{\bar{B}_i}$ – множество пациентов, у которых отсутствует симптом $B_i, i = 1, \dots, t$.

Диагностическому правилу $K(A \& B_i)$, проверяющему присутствие значений A и B_i , из множества пациентов C^+ будет удовлетворять множество пациентов:

$$C_{A \& B_i}^+ = C_A^+ \cap C_{B_i}^+$$

Но, согласно (8)

$$C_{A \& B_i}^+ = C_{B_i}^+$$

а, значит

$$P(K(A \& B_i)) = P(K(B_i)),$$

т.е. свойство существенности правила $K(A, B_i)$, проверяющего присутствие симптомов A и B_i , равно свойству существенности упрощенного правила $K(B_i)$, проверяющего присутствие только одного симптома B_i .

Найдем свойство дифференциации правила $K(A \& B_i)$. Из всех пациентов множества C^- это правило будет отсеивать тех пациентов, у которых отсутствует либо симптом A , либо симптом B_i . Т.е. правило $K(A, B_i)$ будет отсеивать множество пациентов

$$C_{A \vee B_i}^- = C_A^- \cup C_{B_i}^-.$$

Но, согласно (9)

$$C_{A \vee B_i}^- = C_{B_i}^-$$

а, значит

$$D(K(A \& B_i)) = D(K(B_i)),$$

т.е. свойство дифференциации правила $K(A \& B_i)$ равно свойству дифференциации сокращенного правила $K(B_i)$.

Итак, из правила, содержащего понятие и его обобщение в состоянии присутствия, можно удалить параметр, соответствующий обобщенному понятию, и полученное в результате этого упрощенное правило будет обладать такими же свойствами существенности и дифференциации, что и исходное правило.

Аналогичные рассуждения для правила $K(\bar{A} \& \bar{B}_i)$, проверяющего отсутствие понятия B_i и его обобщения A , приводят к следующему.

Правилу $K(\bar{A} \& \bar{B}_i)$ из множества C^+ удовлетворяет множество пациентов

$$C_{\bar{A} \& \bar{B}_i}^+ = C_{\bar{A}}^+ \cap C_{\bar{B}_i}^+.$$

Но, согласно (9)

$$C_{\bar{A} \& \bar{B}_i}^+ = C_{\bar{A}}^+$$

а, значит

$$P(K(\bar{A} \& \bar{B}_i)) = P(K(\bar{A})).$$

Из множества C^- правило $K(\bar{A} \& \bar{B}_i)$ будет отсеивать множество пациентов

$$C_{A \vee B_i}^- = C_A^- \cup C_{B_i}^-.$$

Но, согласно (8)

$$C_{A \vee B_i}^- = C_A^-,$$

а значит

$$D(K(\bar{A} \& \bar{B}_i)) = D(K(\bar{A})).$$

Т.о. свойство существенности и дифференциации правила $K(\bar{A} \& \bar{B}_i)$ равно свойствам существенности и дифференциации упрощенного правила $K(\bar{A})$.

Итак, из правила, содержащего понятие и его обобщение в состоянии отсутствия, можно удалить параметр, соответствующий этому понятию, и полученное в результате этого упрощенное правило будет обладать такими же свойствами существенности и дифференциации, что и исходное правило.

Рассмотрим тот случай, когда значения лингвистического признака не представлены в виде дерева понятий, а заданы как нечеткие множества.

Пусть A и B – значения одного и того же лингвистического признака, заданные как нечеткие множества

$$\begin{aligned} A &= \{\mu_A(u)/u\}, \quad u \in U \\ B &= \{\mu_B(u)/u\}, \quad u \in U \end{aligned}$$

а $K(A\&B)$ – диагностическое правило, проверяющее присутствие симптомов A и B . Удаление параметра, соответствующего понятию B , оправдано в том случае, когда не меняются свойства существенности и дифференциации правила:

$$P(K(A\&B)) = P(K(A))$$

$$D(K(A\&B)) = D(K(A))$$

Т.е. множество пациентов из C^+ , имеющих оба симптома A и B , совпадает с множеством пациентов из C^+ , имеющих симптом A

$$C_{A\&B}^+ = C_A^+ \cap C_B^+ = C_A^+$$

и множество пациентов из C^- , у которых отсутствует хотя бы один из симптомов A и B , совпадает с множеством пациентов из C^- , у которых отсутствует симптом A

$$C_{\bar{A}\bar{B}_i}^- = C_{\bar{A}}^- \cup C_{\bar{B}}^- = C_{\bar{A}}^-.$$

Это возможно лишь при условии

$$C_A^+ \subseteq C_B^+ \quad (10)$$

– все пациенты из C^+ , у которых присутствует симптом A , обязательно имеют и симптом B и

$$C_{\bar{B}}^- \subseteq C_{\bar{A}}^- \quad (11)$$

– у всех пациентов из C^- , у которых отсутствует симптом B , обязательно отсутствует и симптом A .

С учетом неравенств (1), посредством которых установили связь между присутствием/отсутствием различных значений лингвистического признака, заданных нечеткими множествами, условия (10) и (11) можно записать как

$$\nu(A, B) > \nu(A, \bar{B})$$

$$\nu(\bar{B}, \bar{A}) > \nu(\bar{B}, A)$$

Для диагностического правила $K(\bar{A} \& \bar{B})$, проверяющего отсутствие симптомов A и B , условием для удаления параметра, соответствующего симптому B , будет

$$\nu(\bar{A}, \bar{B}) > \nu(\bar{A}, B) \quad (12)$$

$$\nu(B, A) > \nu(B, \bar{A}) \quad (13)$$

Действительно, (12) означает, что у всех пациентов, в частности у пациентов из C^+ , у которых отсутствует симптом A , отсутствует и симптом B , т.е.

$$C_{\bar{A}}^+ \subseteq C_{\bar{B}}^+ ;$$

(13) означает, что у всех пациентов, в частности у пациентов из C^- , с симптомом B , присутствует и симптом A , т.е.

$$C_B^- \subseteq C_A^- .$$

Следовательно

$$C_{\bar{A} \& \bar{B}}^+ = C_{\bar{A}}^+ \cap C_{\bar{B}}^+ = C_{\bar{A}}^+ \quad \text{и} \quad P(K(\bar{A} \& \bar{B})) = P(K(\bar{A}))$$

$$C_{A \vee B}^- = C_A^- \cup C_B^- = C_A^- \quad \text{и} \quad D(K(\bar{A} \& \bar{B})) = D(K(\bar{A}))$$

4. Формирование из множества S концепта $K_I = K_{i_1} \vee K_{i_2} \vee \dots \vee K_{i_r}$,

содержащего минимальное количество правил, покрывающих все множество пациентов C^+ . Здесь на $j+1$ шаге новое правило $K_{i_{j+1}}$ добавляется к уже

построенному концепту $K_I = K_{i_1} \vee K_{i_2} \vee \dots \vee K_{i_j}$ в том случае, если:

множество пациентов из C^+ , не удовлетворяющих ни одному из правил $K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_j}$, не пусто

$$C^+ \setminus (C_{i_1}^+ \cup C_{i_2}^+ \cup \dots \cup C_{i_j}^+) \neq \emptyset$$

и множество пациентов из C^+ , не удовлетворяющих ни одному из правил $K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_j}$, но удовлетворяющих правилу $K_{i_{j+1}}$, также не пусто

$$C_{i_{j+1}}^+ \cap (C^+ \setminus (C_{i_1}^+ \cup C_{i_2}^+ \cup \dots \cup C_{i_j}^+)) \neq \emptyset$$

Если $C^+ \setminus (C_{i_1}^+ \cup C_{i_2}^+ \cup \dots \cup C_{i_r}^+) = \emptyset$ – множество пациентов из C^+ , не удовлетворяющих ни одному из правил $K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_r}$, пусто, в этом случае все множество пациентов C^+ покрывается концептом K_I , т.е. данная выборка состояний в представлении эксперта укладывается в его "стереотипное" правило для данного заболевания и не содержат нетипичных или исключительных случаев.

Возможен случай, когда все множество S исчерпано, но, тем не менее, K_I не покрывает всего множества пациентов C^+ . Это означает, что часть состояний не укладывается в "стереотипное" правило, и они явно нетипичны. Рассмотрим эту часть пациентов отдельно и построим для нее аналогичным образом концепт K_{II} , который назовем концептом II уровня. Можно сказать, что K_{II} – правило, которое сформировано экспертом именно для нетипичных и редких картин заболевания.

Может оказаться, что на новом множестве состояний свойства существенности всех параметров попадут в интервал от 0,5 до 0,75. В этом случае можно предположить, что эксперт оценивал пациентов по различным правилам с различными "базисами". При этом он, по-видимому, не отдавал явного предпочтения ни одному из "базисов". В этом случае следует искать сочетания параметров со свойством существенности $\geq 0,5$, которые образуют, в некотором смысле, "связанные" между собой наборы параметров. Далее множество пациентов разбиваем на 2 подгруппы:

I группа – состояния, удовлетворяющие найденному по новому критерию сочетанию (это сочетание, фактически, является концептом для группы I); II группа – все остальные пациенты. Для II группы пытаемся вышеописанным образом построить концепт. И т.д., пока все первоначальное множество пациентов C^+ не будет покрыто нашим описанием.

2.5. Постановка диагноза по концепту. Обновление базы знаний.

Итак, результатом применения концептуально-вероятностного метода обработки данных являются концепты:

K_I – концепт I уровня для типичных картин заболевания;

K_{II} – концепт II уровня для редких картин заболевания.

Каждый концепт представляет собой дизъюнкцию диагностических правил, которые упорядочим в порядке убывания степеней уверенности в диагнозе:

$$K_I = K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_r$$

$$K_{II} = K_{r+1} \vee K_{r+2} \vee \dots \vee K_t$$

Каждое диагностическое правило является конъюнкцией определенных параметров $\psi_i^{\sigma_i}$ из базиса концепта соответствующего уровня (базисы концептов I и II уровня, вообще говоря, различны, хотя и содержат общие параметры):

$$K_j = \psi_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \psi_{i_2}^{\sigma_{i_2}} \dots \psi_{i_j}^{\sigma_{i_j}}, \quad j = 1, \dots, r$$

$$\text{где } \psi_{i_k}^{\sigma_{i_k}} = \begin{cases} \psi_{i_k} & \text{соответствует присутствию значения } L_{i_k} \\ \bar{\psi}_{i_k} & \text{соответствует отсутствию значения } L_{i_k} \end{cases}$$

вектора состояния триплетных признаков T_{i_k} , полученных в результате унификации исходных признаков $A_1, \dots, A_m$ и сопоставленных значениям L_{i_k} , $k = 1, \dots, k_j$.

При оценке состояния пациента последовательно проверяются диагностические правила $K_1, K_2, \dots, K_r$, входящие в концепт I уровня. Состояние концепта удовлетворяет диагностическому правилу K_j , если у него присутствуют все симптомы (значения L_{i_k}), соответствующие параметрам ψ_{i_k} из правила K_j , и отсутствуют все симптомы (значения L_{i_k}), соответствующие параметрам $\bar{\psi}_{i_k}$ из правила K_j , $k = 1, \dots, k_j$. Как только пациент удовлетворит какому-то диагностическому правилу K_j , ему ставится диагноз наличия данного заболевания со степенью уверенности $D(K_j)$, и проверка остальных диагностических правил концепта прекращается.

Если состояние пациента не удовлетворяет концепту I уровня, проверяется концепт II уровня для нетипичных случаев. Если окажется, что состояние пациента не удовлетворяет концептам ни одного уровня, то его можно отложить в "банк неопознанных состояний". При накоплении множества подобных состояний заново проводится процедура построения концепта на основе переоцененных экспертом данных, и новых, и старых, что приводит к обновлению базы знаний – концепта заболевания.

Выводы по главе 2.

1. Разработан алгоритм унификации факторов, позволяющий свести все разнообразие признаков к одному виду без потери информации;
2. Введены свойства существенности и дифференциации для признаков и диагностических правил, позволяющие отобразить предпочтения врача-эксперта на множестве симптомов и множестве диагностических правил;
3. Разработан концептуально-вероятностный метод обработки данных, позволяющий выявить трудноформализуемые знания врача-эксперта и отобразить их в виде правил продукции.

3. Инженерные аспекты реализации экспертной системы.

3.1. Структура и сценарии работы системы.

На основе проделанной работы была построена экспертная система **HEADACHE** по поддержке решений врача по синдрому "Головная боль", которая осуществляет дифференциальную диагностику двух типов головных болей – головной боли напряжения и мигрени, сопровождая свое решение степенью уверенности в диагнозе.

Функционирование экспертной системы **HEADACHE** определяется типом пользователя и задачей, которую пользователь собирается решить посредством этой системы. Возможны следующие группы пользователей: "Эксперт по диагностике", "Инженер по знаниям", "Врач-невропатолог", "Пользователь-неспециалист" (к этой группе можно отнести как людей, страдающих головной болью, так и врачей другой специализации). Соответственно экспертная система **HEADACHE** может функционировать в двух режимах – в режиме приобретения знаний и в режиме решения задачи диагностики, каждый из которых обеспечивается той или иной подсистемой, входящей в состав системы **HEADACHE**. Исходя из этого, пользователей системы можно разбить на две основные категории: "Эксперт", использующий систему в режиме приобретения знаний, и "Пользователь", использующий систему в режиме решения задачи диагностики.

Экспертная система **HEADACHE** состоит из следующих подсистем (Рис.5):

1. Подсистема ввода данных.
2. Подсистема формирования базы знаний.
3. Система-советчик.

Основное назначение **подсистемы ввода данных** – заполнение базы данных (**БД**), которая содержит данные анамнеза и диагноз пациента. При заполнении исходной базы данных, на основе которой вырабатывается база знаний, диагноз пациента устанавливает эксперт по диагностике. В режиме решения задачи диагностики диагноз устанавливается экспертной системой на основе текущей базы знаний и сопровождается степенью уверенности в

диагнозе, но окончательное решение (вплоть до отмены установленного системой диагноза) принимает врач-специалист.

Подсистема формирования базы знаний обрабатывает данные исходной базы данных, содержащей данные анамнеза уже продиагностированных пациентов, и формирует базу знаний (**БЗ**), содержащую полученные знания в виде правил продукции, каждое из которых сопровождается степенью уверенности в диагнозе, которую обеспечивает это правило.

Система-советчик позволяет установить диагноз пациента на основе текущей базы знаний и базы данных.

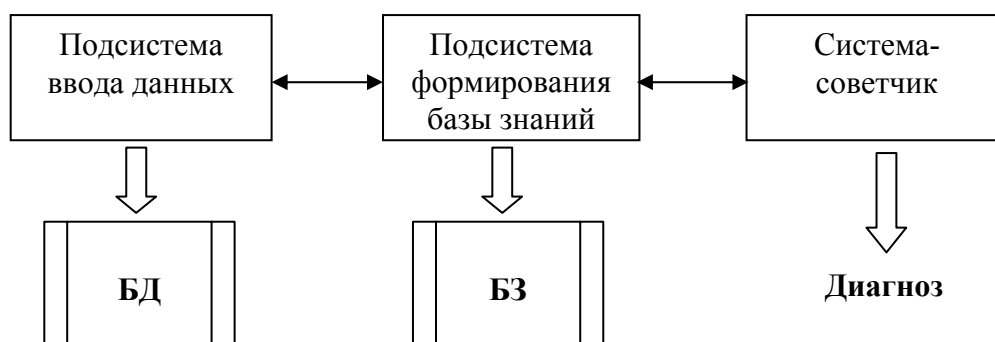


Рис. 5. Общая структура экспертной системы **HEADACHE**.

Функционирование системы в режиме приобретения знаний схематично можно представить следующим образом (Рис.6).

Эксперт посредством подсистемы ввода данных заполняет исходную базу данных. Затем подсистема формирования базы знаний на основе исходной базы данных создает базу знаний. В случае неудовлетворительных степеней уверенности в диагнозе база знаний формируется заново, уже при более низком пороге свойства существенности. При накоплении сравнительно большого числа расхождений между мнениями системы и эксперта при предварительной проверке или в режиме диагностики производится обновление базы знаний – уже на основе более обширной текущей базы данных.

Более подробно алгоритм работы категории пользователей "Эксперт" представлен на Рис.7.

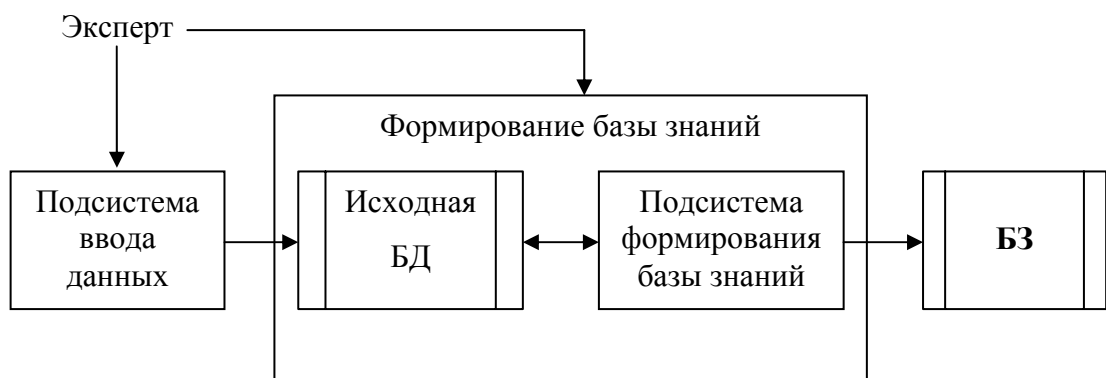


Рис. 6. Функционирование системы в режиме приобретения знаний.

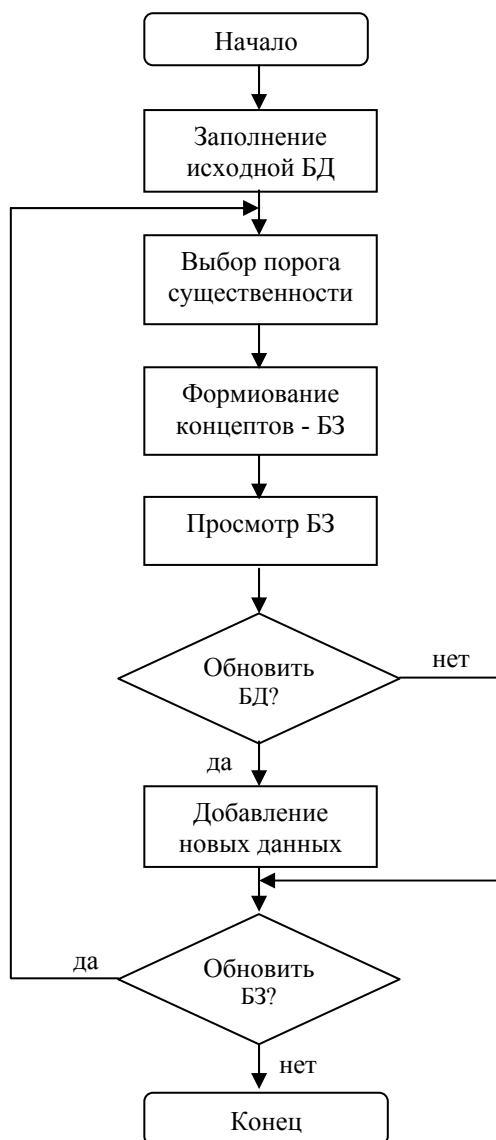


Рис. 7. Алгоритм работы категории пользователей "Эксперт".

Функционирование системы в режиме решения задачи диагностики схематично можно представить следующим образом (Рис.8).

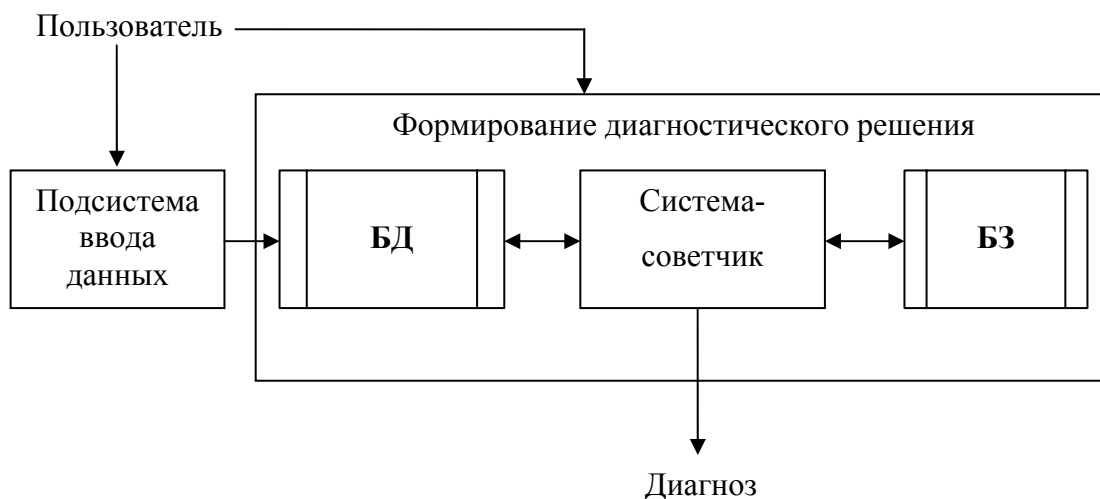


Рис. 8. Функционирование системы в режиме решения задачи диагностики

В этом режиме с системой работают группы пользователей "Врач-невропатолог" и "Пользователь-неспециалист". Пользователь первой группы посредством подсистемы ввода данных вводит данные анамнеза диагностируемого пациента в базу данных. Затем происходит обращение к системе-советчику, которая определяет диагноз на основе текущей базы знаний. Каждый диагноз сопровождается степенью уверенности, которая облегчает выбор окончательного решения в случае нескольких возможных диагнозов. В любом случае окончательный диагноз ставит врач и именно он записывается в базу данных.

Пользователь-неспециалист не имеет доступа к базе данных и взаимодействует с системой-советчиком в диалоговом режиме. Система последовательно просматривает правила из текущей базы знаний и задает соответствующие вопросы. Как только состояние пациента удовлетворит некоторому диагностическому правилу, пользователю в качестве ответа выдается порядковый номер правила, диагноз и степень уверенности в диагнозе. При желании пользователь может продолжить диагностирование.

Алгоритмы работы категории "Пользователь" представлены на Рис.9 – для врача-невропатолога и на Рис.10 – для пользователя-неспециалиста.



Рис. 9. Алгоритм работы категории пользователей "Врач-невропатолог".



Рис. 10. Алгоритм работы категории "Пользователь-неспециалист".

3.2. Алгоритм унификации факторов.

Пусть $\mathcal{L}$ – лингвистический признак, значения которого могут быть представлены в виде дерева понятий, причем, дочерние вершины являются взаимоисключающими конкретизациями более общего понятия, представленного родительской вершиной. Согласно алгоритму унификации факторов каждому значению L_i лингвистического признака $\mathcal{L}$ ставится в соответствие триплетный признак T_{L_i} , могущий принимать следующие значения: 0, 1 и 2. Если A и B – две вершины иерархического признака $\mathcal{L}$ и $\mathcal{L}=A$, то значение триплетного признака T_B определяется по следующему алгоритму (Рис.11).

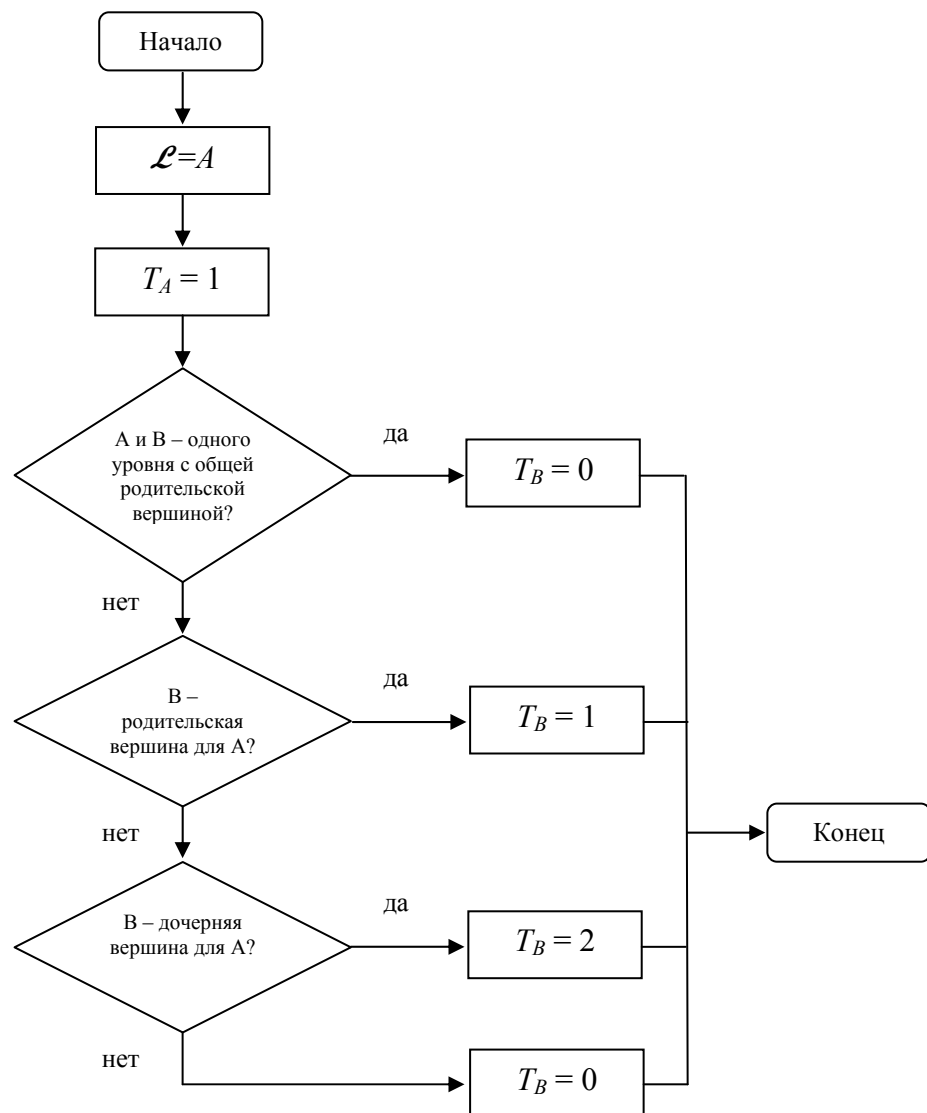


Рис. 11. Алгоритм унификации факторов для иерархического признака, представленного ИЛИ-деревом.

Алгоритм для случая, когда дочерние вершины не являются взаимоисключающими, представлен на Рис.12.

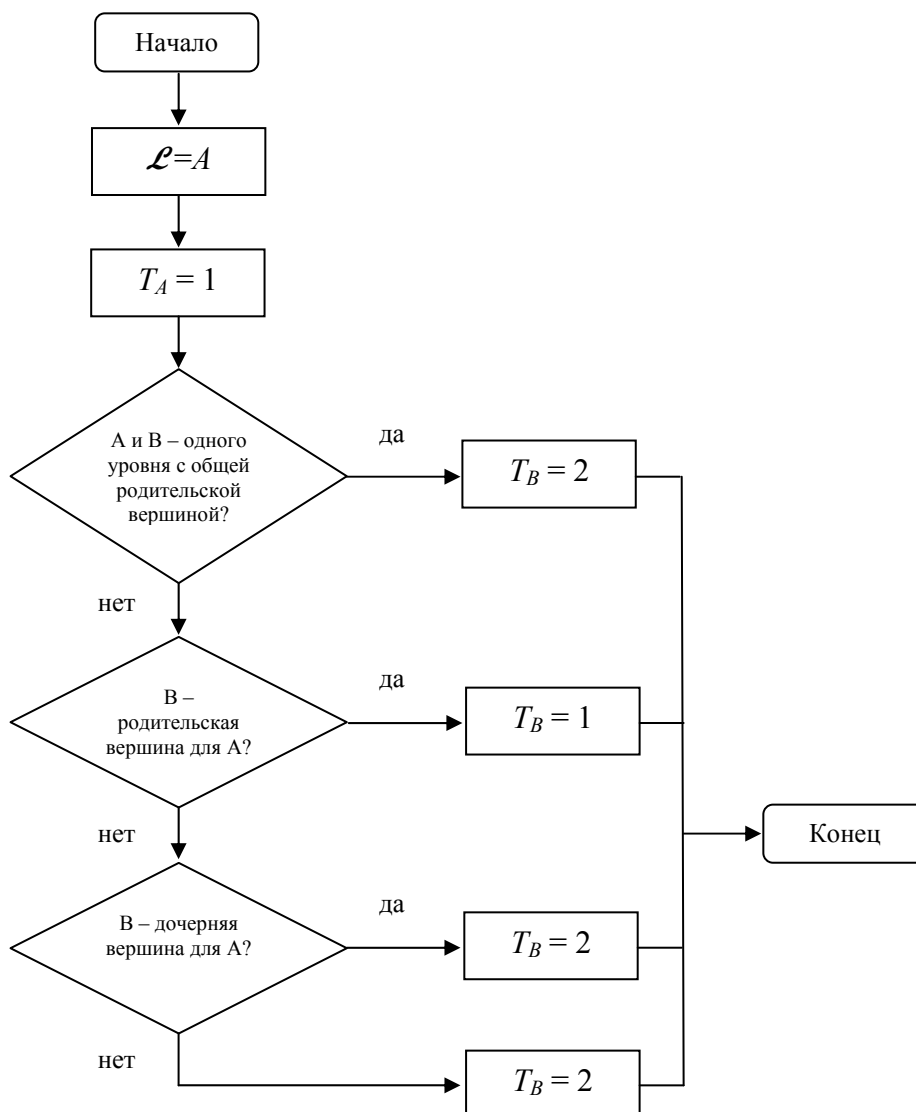


Рис. 12. Алгоритм унификации факторов для иерархического признака, представленного И-деревом.

Когда значения лингвистического признака $(\mathcal{L}, T(\mathcal{L}), U, G, M)$ заданы как нечеткие подмножества числового множества, в этом случае зависимость между присутствием (отсутствием) двух понятий определяется на основе степени включения для нечетких множеств.

Пусть A и B – два значения лингвистического признака $\mathcal{L}$, а T_A и T_B – соответствующие этим значениям триплетные признаки и $\mathcal{L}=A$. Тогда значение триплетного признака T_B определяется по следующему алгоритму (Рис.13).

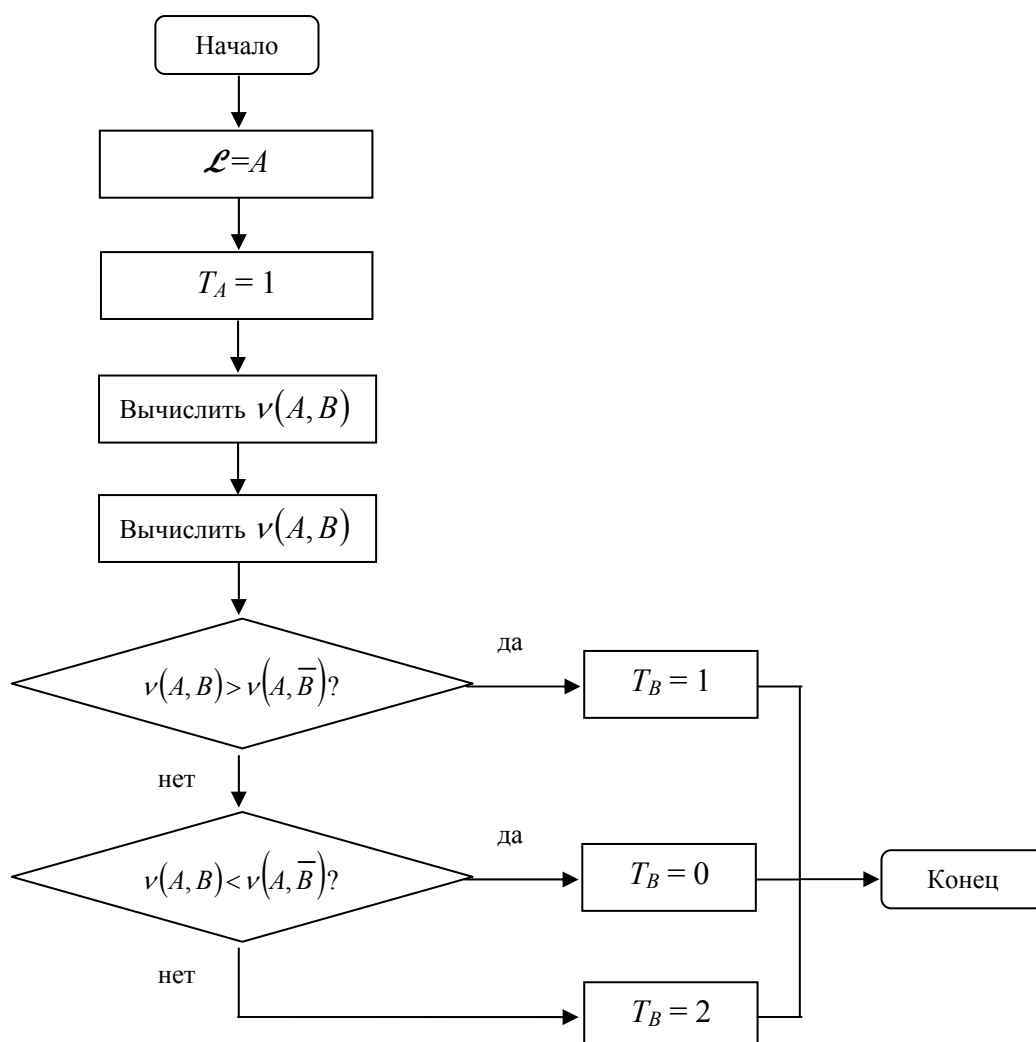


Рис. 13. Алгоритм унификации факторов для лингвистического признака, значения которого представлены нечеткими множествами.

3.3. Алгоритм формирования диагностических правил.

Алгоритм формирования диагностических правил – базы знаний экспертной системы согласно концептуально-вероятностному методу обработки данных может быть представлен в виде следующей последовательности блок-схем (Рис.14 – Рис.18).

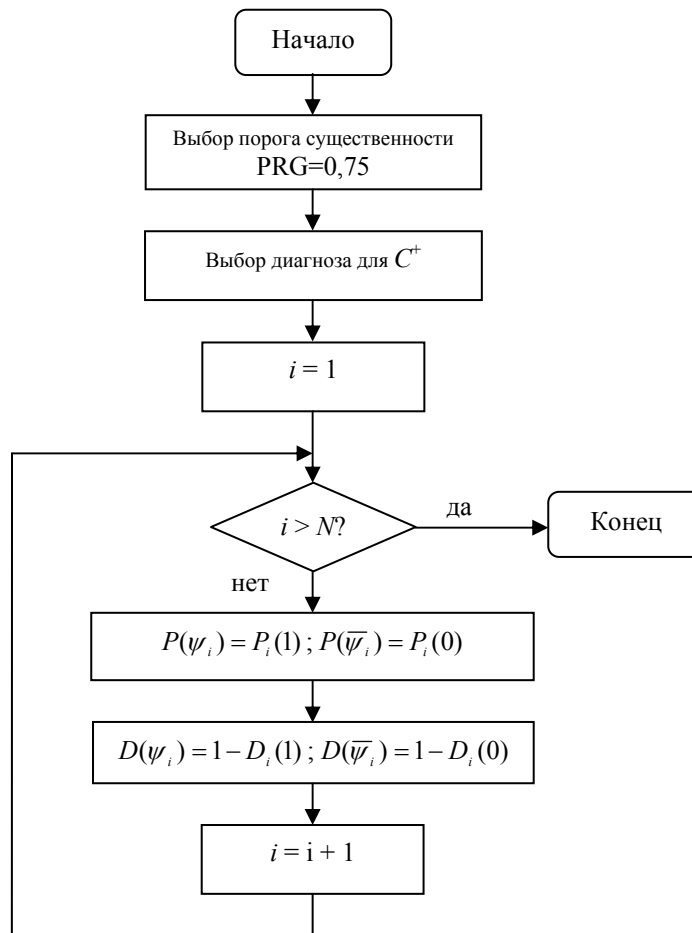


Рис. 14. Вычисление свойств существенности и дифференциации параметров $\psi_i, \bar{\psi}_i$.

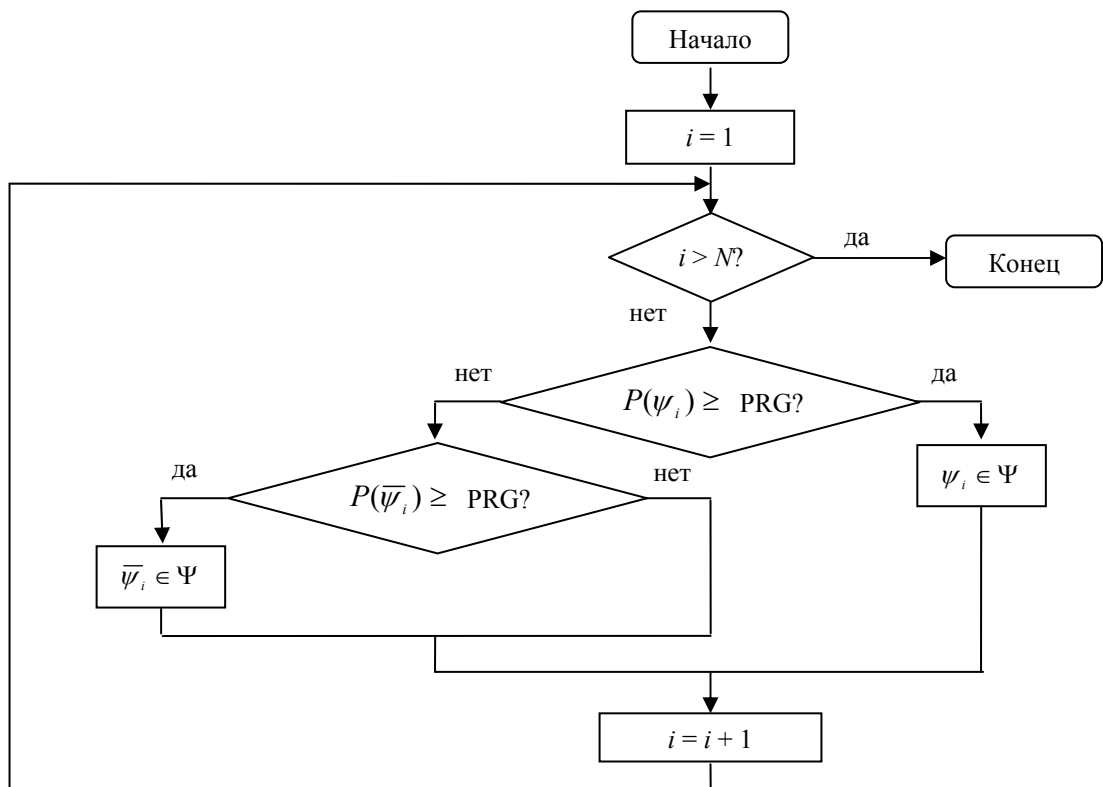


Рис. 15. Выбор существенных параметров $\psi_i, \bar{\psi}_i$.

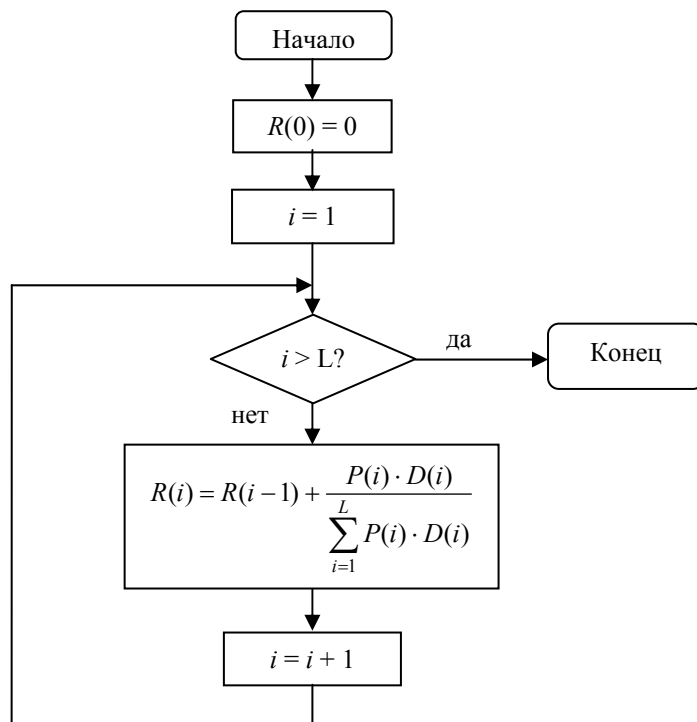


Рис. 16. Формирование "рулетки".

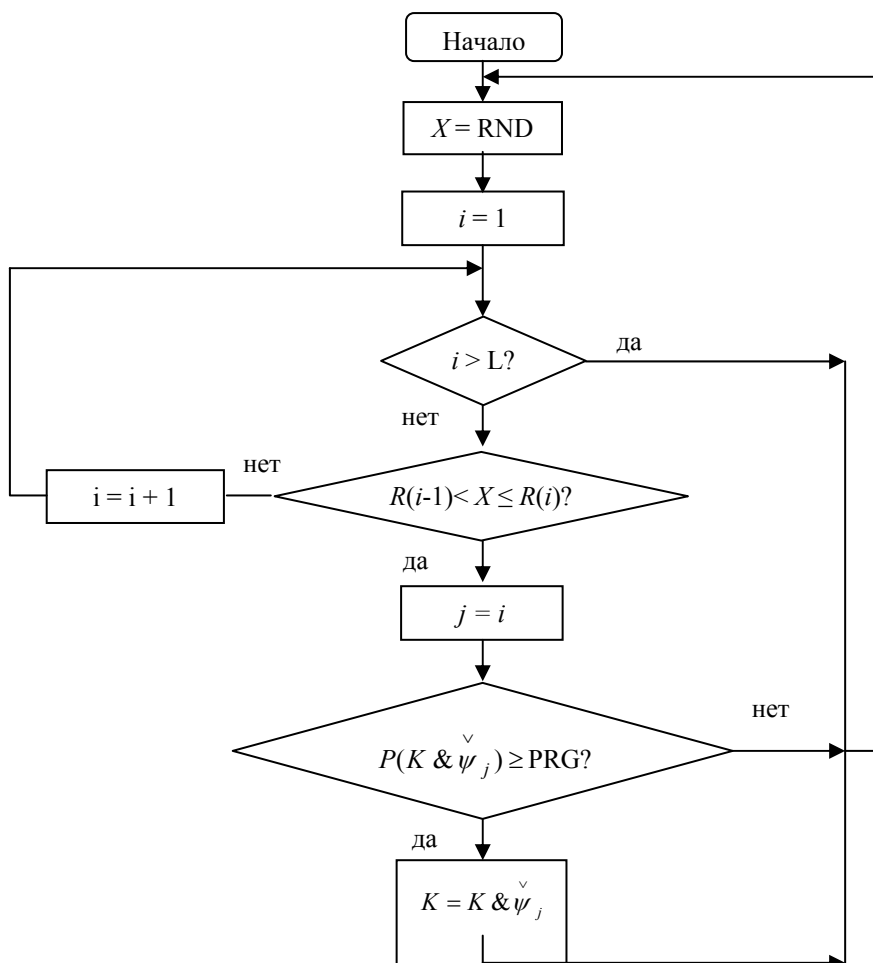


Рис. 17. Розыгрыш существенных сочетаний.

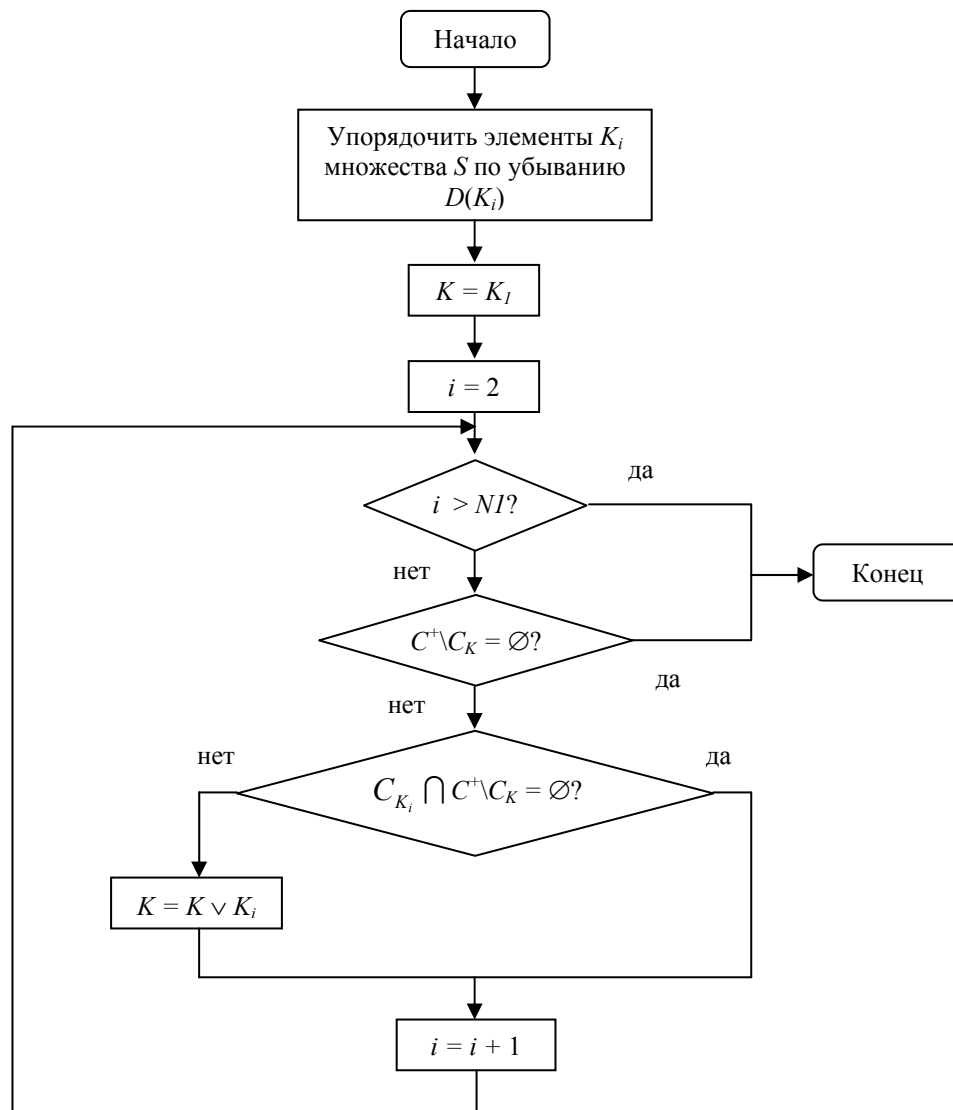


Рис. 18. Формирование концепта.

3.4. Описание интерфейса экспертной системы HEADACHE.

Экспертная система **HEADACHE** была реализована в среде MS Access и Delphi. Активизация каждой подсистемы осуществляется посредством выбора соответствующего пункта главного меню (Рис.19).



Рис. 19. Главное меню экспертной системы **HEADACHE**

Подсистема ввода данных принимает участие в работе системы как в режиме приобретения знаний, так и в режиме решения задачи диагностики.

Основное назначение подсистемы ввода данных – заполнение базы данных, которая содержит данные анамнеза и диагноз пациента. При заполнении исходной базы данных, на основе которой вырабатывается база знаний, диагноз пациента устанавливает эксперт по диагностике. В режиме решения задачи диагностики диагноз устанавливается экспертной системой на основе текущей базы знаний и сопровождается степенью уверенности в диагнозе, но окончательное решение (вплоть до отмены установленного системой диагноза) принимает врач-специалист. В случае пользователя-неспециалиста диагноз также устанавливается экспертной системой и сопровождается степенью уверенности в диагнозе, но пользователь-неспециалист лишен возможности изменить решение, принятое экспертной системой.

Ввод данных осуществляется при выборе пункта **ВВОД ДАННЫХ** главного меню посредством электронной анкеты – формы **Patient** (Рис.20). Форма **Patient** содержит шесть закладок: "Общие сведения", "Характеристика головной боли", "Предшествующие и сопровождающие симптомы", "Провоцирующие, ухудшающие и облегчающие факторы", "Психосоциальный

статус", "Для женщин" (Рис.20).

Рис. 20. Электронная анкета **Pacient**

присутствие

отсутствие

неопределенность

Рис. 21. Возможные значения признаков.

Каждая закладка содержит тематически объединенные симптомы, могущие находиться в одном из трех состояний: в состоянии присутствия, в состоянии отсутствия и в состоянии неопределенности (Рис.21).

Данные, вводимые посредством формы **Pacient**, хранятся в таблицах **Obschie**, **Xarakteristika**, **Simptomi**, **Faktori**, **Status**, **Jen**, **Lokalizacia**, **Prodoljitelnost**, структура и связи между которыми представлены на Рис.22.

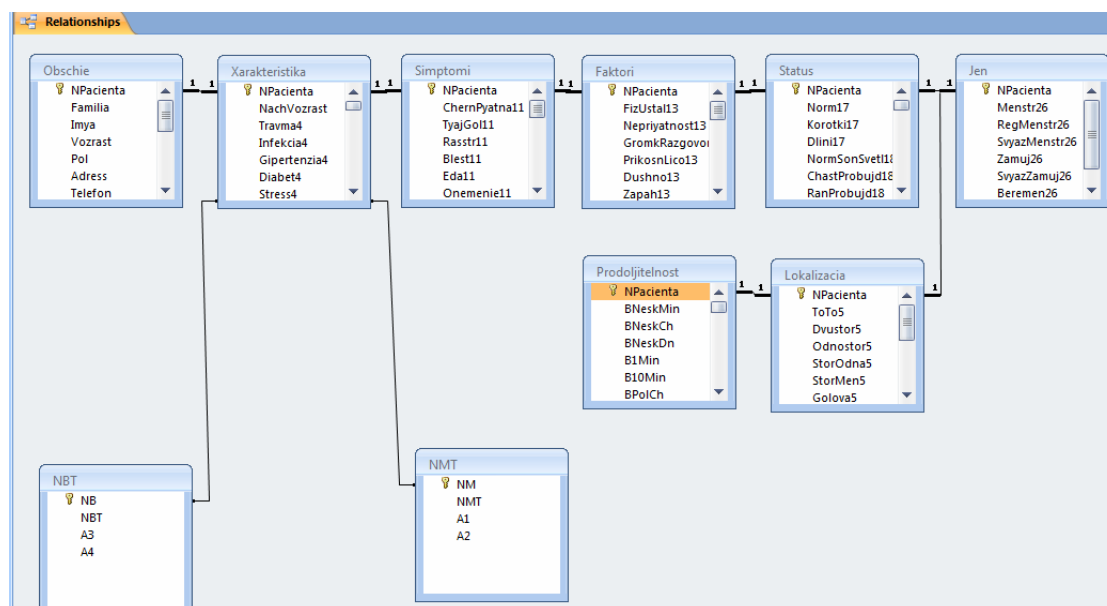


Рис. 22. Структура базы данных

Кроме того, что подсистема ввода данных обеспечивает пользователя всеми необходимыми средствами работы с базой данных (просмотр, редактирование и добавление записей, поиск и фильтрация данных), она также осуществляет унификацию данных согласно алгоритму унификации факторов и передает в таблицы данные, уже представленные в виде -1, 0 и Null значений, которые соответствуют состояниям присутствия, отсутствия и неопределенности соответствующих симптомов (Рис.23)

Для унификации лингвистического признака "Продолжительность приступа головной боли", каждое значение которого задается как нечеткое множество, определенное на числовом интервале $U = [0 \text{ мин}, 7 \text{ дн}]$, в базу данных, кроме вышеперечисленных основных таблиц, входят две таблицы – **NBT** и **NMT**.

Status						
NPacienta	NormSon	ChastProbujd	RanProbujd	Bessonnica	Sonl	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8	0	-1	0	0	0	
9	0	0	0	-1	0	
12	0	0	0	-1	0	
13						
14	0	-1	0	0	0	
15						
17						
18						
20	0	-1	0	0	0	
21						
22	0	0	0	-1	0	
23						
24	0	-1	-1	0	0	
27						
28	0	-1	-1	0	0	
29						
30	0	0	0	-1	0	
31	0	-1	0	0	0	
32						
33	0	-1	0	0	0	

Record: 67 of 68 No Filter Search

Рис. 23. Данные, полученные в результате применения алгоритма унификации.

Таблица **NBT** предназначена для хранения функций принадлежности термов типа "не более чем T_i ", которые представлены в виде двойки чисел $\{a_{i3}, a_{i4}\}$ (Рис. 24).

Соответственно, таблица **NMT** предназначена для хранения функций принадлежности термов типа "не менее чем T_i ", которые представлены в виде двойки чисел $\{a_{i1}, a_{i2}\}$ (рис.25).

При вводе нового пациента в базу данных врач перед принятием окончательного решения также имеет возможность ознакомиться с диагнозом, предоставляемым системой-советчиком. После выработки базы знаний в форме **Pacient** становится доступной кнопка **Продиагностировать**, которая позволяет продиагностировать введенного в базу данных пациента на основе текущей базы

NBT				
	NB	NBT	A3	A4
+	1	несколько минут	0.25	0.333
+	2	несколько часов	4	5
+	3	несколько дней	96	120
+	4	1 мин	0.016	0.05
+	5	10 мин	0.166	0.25
+	6	полчаса	0.5	0.75
+	7	45 мин	0.75	1
+	8	1 ч	1	1.5
+	9	полтора часа	1.5	2
+	10	2 ч	2	3
+	11	3 ч	3	4
+	12	4 ч	4	5
+	13	5 ч	5	6
+	14	6 ч	6	12
+	15	полдня	12	24
+	16	1 день	24	48
+	17	2 дня	48	72
+	18	3 дня	72	96
+	19	4 дня	96	120
+	20	5 дней	120	144
+	21	6 дней	144	168
+	22	7 дней	168	192
*				

Рис. 24. Таблица **NBT**, предназначенная для хранения функций принадлежности термов типа "не более чем T_i " лингвистического признака "Продолжительность приступа головной боли".

знаний. Результаты диагностики выводятся в диалоговом окне "Диагностика головной боли", в верхней части которого выведен список симптомов диагностируемого пациента: слева – симптомы в состоянии присутствия, справа – симптомы в состоянии отсутствия. В нижней части окна выведен список концептов, которым удовлетворяет состояние данного пациента, каждый из которых сопровождается степенью уверенности в диагнозе (Рис.26).

Подсистема формирования базы знаний активизируется выбором пункта **ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПТОВ** главного меню (Рис.19) и является программной реализацией концептуально-вероятностного метода обработки данных. Эта подсистема обрабатывает данные исходной базы данных, содержащей данные анамнеза уже продиагностированных 204 пациентов. Этим пациентам был поставлен диагноз или головной боли напряжения (102 пациента), или мигрени (66 пациентов), или головной боли смешанного типа –

NMT				
	NM	NMT	A1	A2
+	1	несколько минут	0	0.05
+	2	несколько часов	1	2
+	3	несколько дней	12	48
+	4	1 мин	0	0.016
+	5	10 мин	0.05	0.166
+	6	полчаса	0.25	0.5
+	7	45 мин	0.5	0.75
+	8	1 ч	0.5	1
+	9	полтора часа	1	1.5
+	10	2 ч	1.5	2
+	11	3 ч	2	3
+	12	4 ч	3	4
+	13	5 ч	4	5
+	14	6 ч	5	6
+	15	полдня	6	12
+	16	1 день	6	12
+	17	2 дня	24	48
+	18	3 дня	48	72
+	19	4 дня	72	96
+	20	5 дней	96	120
+	21	6 дней	120	144
+	22	7 дней	144	168
*				

Рис. 25. Таблица **NMT**, предназначенная для хранения функций принадлежности термов типа "не менее чем T_i " лингвистического признака "Продолжительность приступа головной боли"

мигрень + головная боль напряжения (36 пациентов). Результатом обработки являются концепты (диагностические правила) I уровня – для типичных картин заболевания, и, в случае необходимости, концепты II уровня – для редких картин заболевания. Величина свойства существенности, определяющая меру "типичности", как и тип головной боли, для которого формируются концепты, не фиксированы и задаются в диалоговом режиме перед выполнением соответствующей программы (Рис.27).

Каждый частный концепт сопровождается степенью уверенности в диагнозе, которую обеспечивает этот концепт. На основе концептов и степеней уверенности создается база знаний, содержащая полученные знания в виде правил продукции. При выборе пункта **ПРОСМОТР КОНЦЕПТОВ** главного меню (Рис.19) полученные концепты выводятся в диалоговом окне "СПИСОК

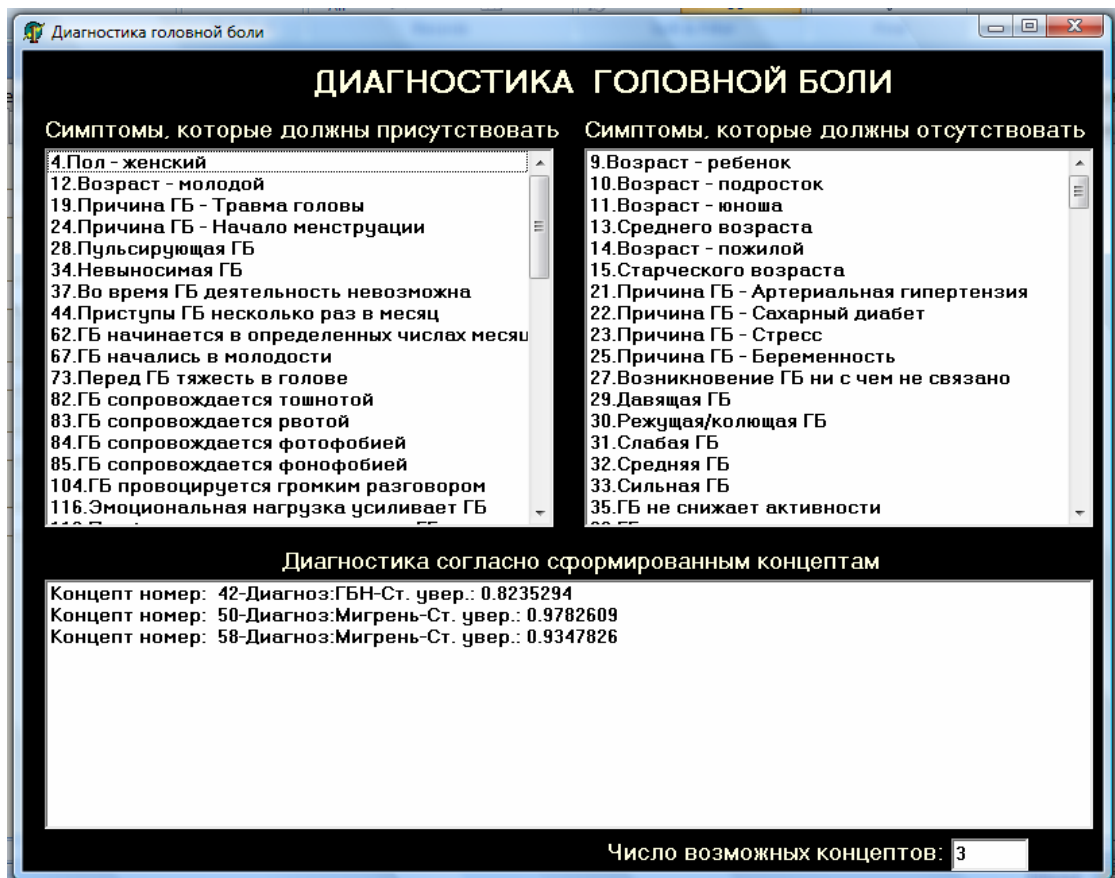


Рис. 26. Диалоговое окно "Диагностика головной боли".

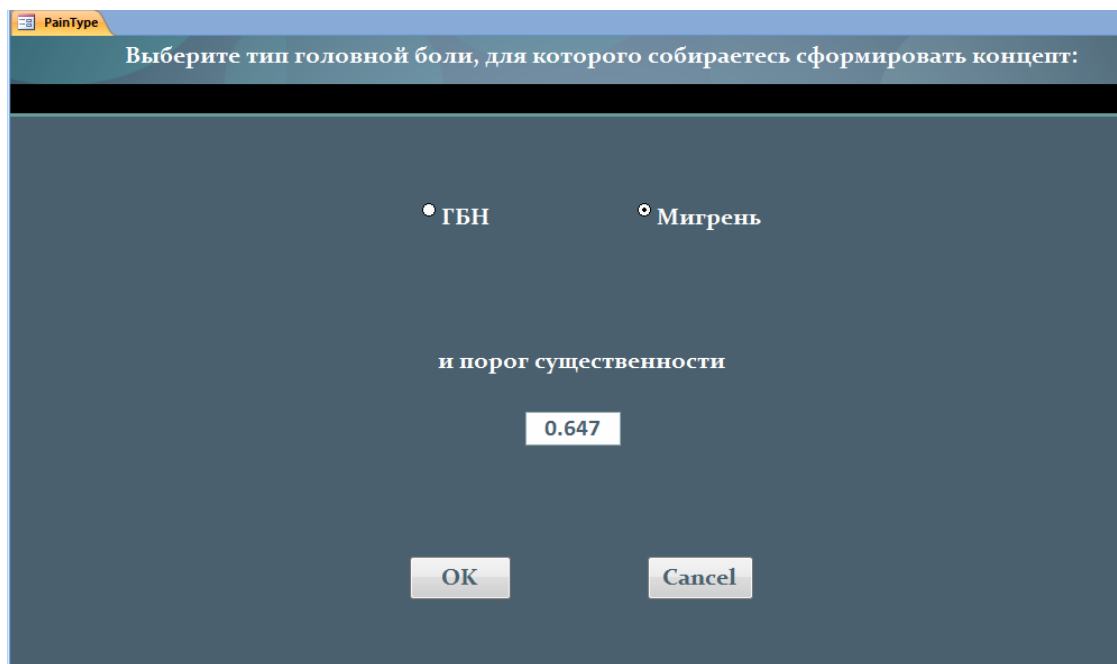


Рис. 27. Выбор типа головной боли и порога существенности для формируемого концепта.

СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ", которое содержит два списка симптомов, входящих в просматриваемый концепт: слева – симптомы в состоянии присутствия, справа – симптомы в состоянии отсутствия; порядковый номер концепта; тип головной боли, для которого сформирован этот концепт; степень уверенности в диагнозе, которую обеспечивает просматриваемый концепт (Рис.28).

Подсистема выработки базы знаний также используется при обновлении базы знаний.

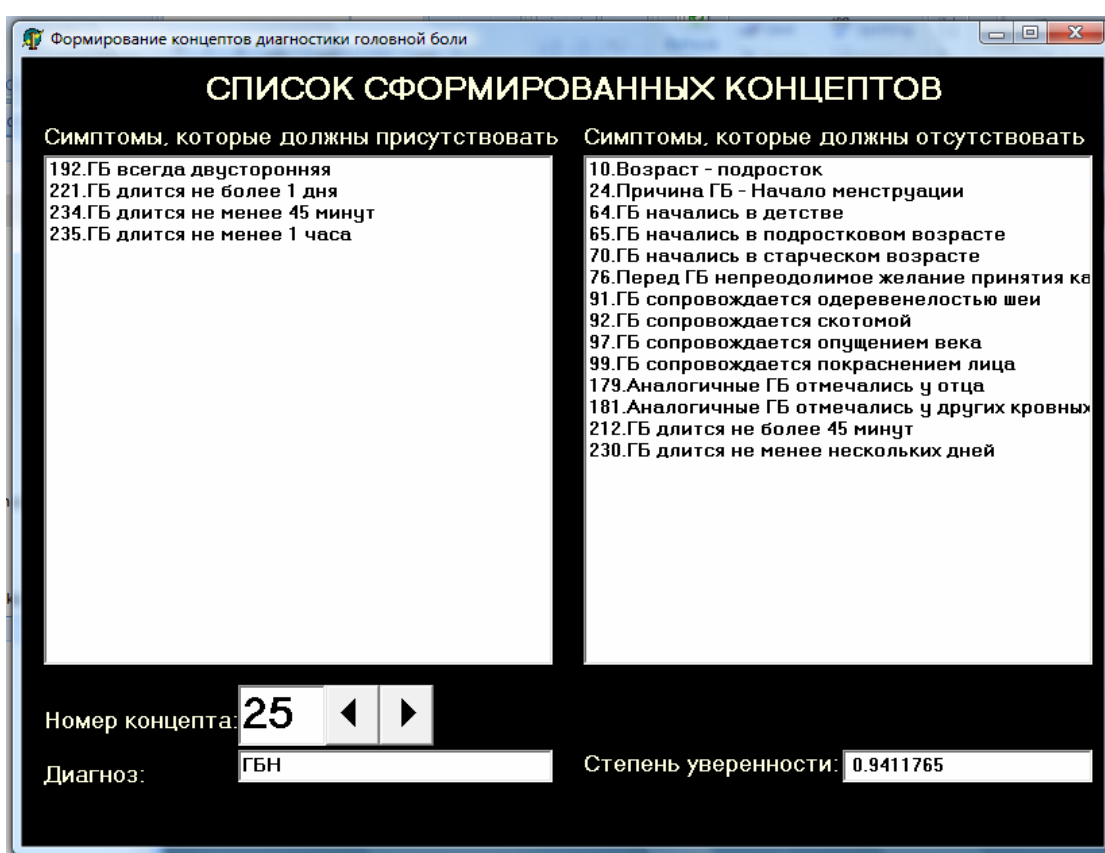


Рис. 28. Диалоговое окно "СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ"

Система-советчик позволяет в диалоговом режиме установить диагноз пациента. При оценке состояния пациента последовательно проверяются диагностические правила (частные концепты), входящие в текущую базу знаний. При выборе пункта **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ** главного меню (Рис.19) система-советчик начинает задавать вопросы о наличии у пациента того или иного симптома, на которые пользователь может ответить либо утвердительно

(симптом в состоянии присутствия), либо отрицательно (симптом в состоянии отсутствия), либо прекратить диагностирование (Рис.29). Состояние пациента удовлетворяет частному концепту, если все симптомы, входящие в концепт, у пациента наблюдаются в том состоянии, в котором они входят в состав этого концепта. Как только состояние очередного симптома не совпадает с состоянием этого симптома в концепте, проверка текущего концепта прекращается. Система-советчик переходит к следующему частному концепту и начинает задавать вопросы насчет симптомов, уже входящих в состав нового концепта. Ответы пользователя в течении одного сеанса диагностики сохраняются и используются при проверке последующих частных концептов, что позволяет избежать многократного вывода одних и тех же вопросов системой-советчиком.

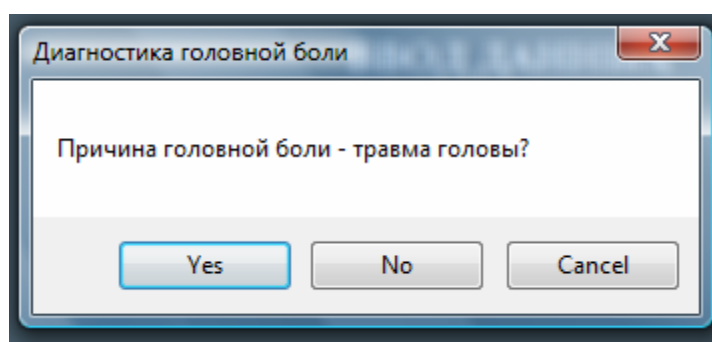


Рис. 29. Запрос системы-советчика о наличии текущего симптома.

Как уже было сказано, состояние пациента удовлетворяет частному концепту, если все симптомы, входящие в концепт, у пациента наблюдаются в том состоянии, в котором они входят в состав этого концепта. В этом случае система-советчик выдает диагноз, указывая концепт, согласно которому было принято решение, и сопровождает его степенью уверенности в диагнозе, которую обеспечивает этот концепт (Рис.30).

В том случае, если пользователя не удовлетворяет полученный ответ или степень уверенности в диагнозе, он может продолжить диагностирование. Если состояние пациента удовлетворяет и другому концепту, система-советчик в качестве ответа выводит и старое, и новое решения (Рис.31). Это позволит

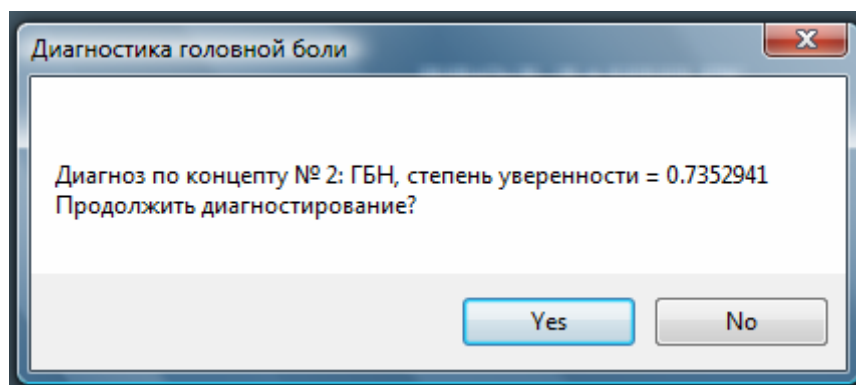


Рис. 30. Диагноз, поставленный системой-советчиком.

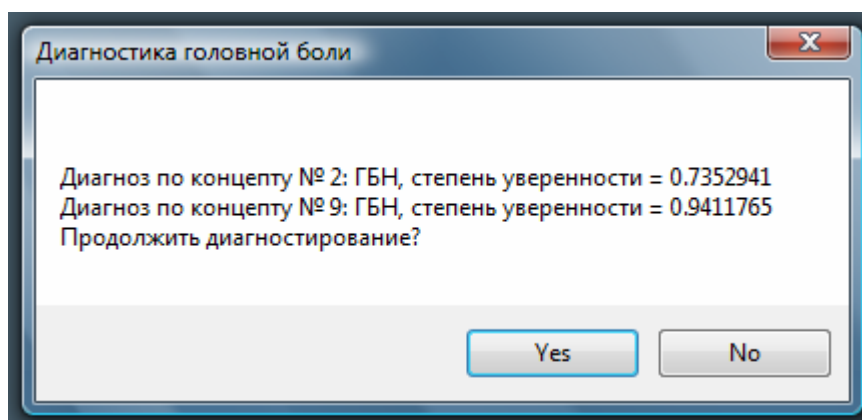


Рис. 31. Два возможных диагностических решения, принятые системой-советчиком для одного и того же пациента.

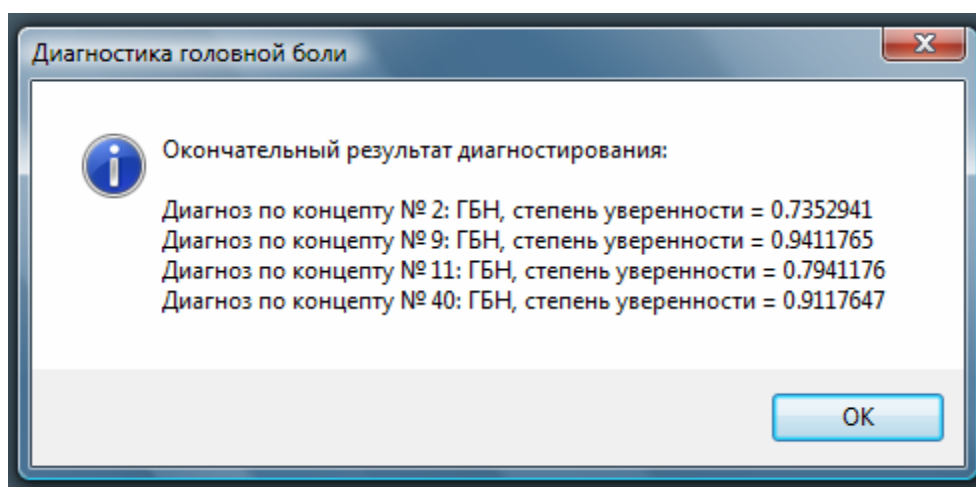


Рис. 32. Окончательный результат диагностирования по всем частным концептам текущей базы знаний.

пользователю сравнить оба решения системы и так поставить окончательный диагноз.

При желании пользователь может оценить состояние пациента по всем частным концептам, входящим в текущую базу знаний (Рис.32).

Возможен случай, когда состояние пациента не удовлетворяет ни одному частному концепту из текущей базы знаний. Тогда система-советчик выводит соответствующее сообщение (Рис.33).

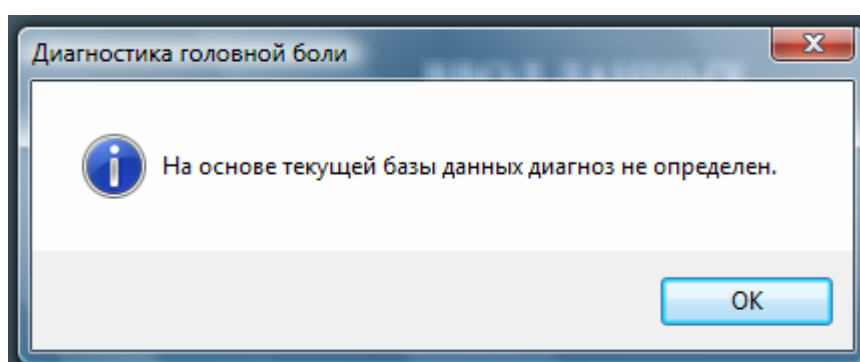


Рис. 33. Сообщение системы-советчика в том случае, когда состояние пациента не удовлетворяет ни одному частному концепту из текущей базы знаний.

В заключение отметим преимущества созданного программного пакета:

1. Стандартная электронная анкета и электронная база данных, облегчающие сбор, хранение и просмотр наиболее полной информации о рассматриваемых типах головной боли. В перспективе эта электронная анкета могла бы послужить основой для создания единой информационной Internet-системы по синдрому "Головная боль", доступной любому врачу в любом уголке страны.
2. Унификация данных и пополнение в случае неполных данных.
3. Автоматизированная система приобретения знаний, предназначенная для извлечения интуитивных и трудноформализуемых знаний эксперта.
4. Диагностические правила как для типичных, так и для редких случаев.
5. Легкость обновления и уточнения базы знаний.
6. Развертка возможных картин заболевания для данного диагноза.

7. Обследование картины заболевания и выделение существенных специфических параметров для различных подгрупп пациентов.

Выводы по главе 3.

1. Создан программный пакет, состоящий из трех подсистем: подсистемы ввода данных, подсистемы выработки базы знаний и системы-советчика.
2. Подсистема ввода данных представляет собой стандартный электронный вопросник для сбора анамнеза и, кроме этого, осуществляет унификацию данных согласно алгоритму унификации факторов.
3. Подсистема выработки базы знаний является программной реализацией концептуально-вероятностного метода обработки данных и предоставляет возможность автоматизации процесса извлечения интуитивных и трудноформализуемых знаний эксперта. Подсистема выработки базы знаний также используется при обновлении базы знаний.
4. Система-советчик позволяет в диалоговом режиме установить диагноз пациента, который сопровождается соответствующей степенью уверенности в диагнозе. Окончательное решение остается за врачом.

4. Экспериментальная проверка основных положений диссертационной работы.

4.1. Головные боли. Характеристика заболевания и сложности его диагностики.

Почти каждый человек знает, что такое головная боль, хотя она и трудно поддается четкому определению. Тем не менее "головную боль" принято определять следующим образом [45]:

Головная боль – любое неприятное ощущение в области от бровей и до затылка. Боли в области лица выделяют в отдельную группу лицевых болей. Хотя в более широком смысле головной болью называют любые боли и чувство дискомфорта, локализованные в области головы.

Учитывая разнообразие проявлений головной боли, было бы правильнее употреблять термин "головные боли".

Головные боли сопровождают человека с древнейших времен [46]. Отдельные упоминания о периодических головных болях, напоминающие по своему описанию клинику мигрени, появились более 5000 лет назад. Позже в вавилонской литературе (19-6 в. до н.э.) были найдены описания приступов головной боли, сравнимые со вспышкой молнии. Китайские врачи пытались лечить головную боль иглоукалыванием и прижиганием (книга "Цжичжуан", 581 г. до н.э.).

Различные виды головной боли были описаны древнегреческим врачом Гиппократом (460-370 г. до н.э.) в труде "Афоризмы". Впервые головная боль была определена как заболевание, а не божья кара. Также впервые в этом труде были приведены хорошо известные симптомы мигрени: зрительная аура, начало головной боли после ауры на стороне зрительных расстройств, приступ рвоты и облегчение головной боли после приступа рвоты.

В греко-романский период знания о головной боли расширились. Греческий врач Аретей Каппадокийский (30-90 гг. до н.э.) в своей книге "Об острых и хронических заболеваниях" дал следующую классификацию головной боли:

цефалгия – умеренная, эпизодическая, длящаяся от 1-3 часов до нескольких дней и напоминающая головную боль напряжения;
цефалея – длящаяся дольше, более интенсивная, с трудом поддающаяся лечению и, вероятно, обусловленная органической патологией;
гетерокrania – схожая по клинике с мигренью.

Термин "мигрень" произошел от термина "гемикrania", введенного Галеном (131-201 гг. н.э.). Им же была создана гуморальная теория, в которой возникновение заболевания было обусловлено нарушением равновесия между четырьмя жидкостями: кровью, флегмой, черной и желтой желчью. Его гуморальной теории придерживались в течение нескольких веков.

В средние века в основном изучались причины возникновения головной боли, предпринимались попытки найти эффективные способы лечения этой болезни, но многие рассуждения того периода о происхождении головной боли носили ложный характер.

Сравнительно серьезные результаты в области исследований головных болей были получены в 19-ом, особенно в 20-м веке. Важным этапом в истории головных болей стал 1988 год, когда Международный классификационный комитет головной боли ввел новую классификацию головных и лицевых болей. В настоящее время проблемой головных болей занимаются многие специализированные центры и научные общества, объединенные в Европейскую ассоциацию по исследованию головных болей.

Чем обусловлен столь устойчивый интерес к проблеме головных болей по всему миру?

Во-первых, головные боли широко распространены во всех странах и, несмотря на различия национальных культур и экономического развития, составляют от 10-12 до 50% и более среди населения. По другим данным 80-88% населения страдают от периодически возникающих головных болей [45]. Согласно наиболее систематизированным исследованиям около 78% женщин и 64% мужчин хотя бы раз страдали от головной боли на протяжении предыдущего года, и 36% женщин и 19% мужчин страдают от рецидивирующих головных болей [47].

Головная боль – одна из самых распространенных жалоб, с которой приходится сталкиваться в повседневной практике врачам любой специальности. Головные боли являются одной из основных причин для приема

анальгетиков. Так, пациенты с головными болями составляют в США более $\frac{1}{3}$ тех, кто регулярно пользуется безрецептурными анальгетиками, приобретая их на сумму более 1 млрд долларов ежегодно [48].

Во-вторых, головная боль может быть ведущей, а иногда и единственной жалобой более чем при 45 различных заболеваниях. Причины головных болей весьма разнообразны, но они делятся на две принципиально разные группы: идиопатические и симптоматические [47, 48, 49]. Под первыми понимают самостоятельные головные боли, когда боль составляет не только симптом, но и сущность заболевания. Вторые неразрывно связаны с каким-либо поражением и травмой организма и является одним из симптомов соответствующей патологии. Согласно Международной классификации головных болей [49] головные боли разделены на 13 основных видов:

1. мигрень;
2. головная боль напряжения;
3. кластерная (пучковая) головная боль;
4. разнообразные головные боли, не связанные со структурными повреждениями;
5. головные боли, связанные с травмой головы;
6. головные боли, обусловленные сосудистыми расстройствами;
7. головные боли, обусловленные внутричерепными процессами несосудистой природы;
8. головные боли, связанные с употреблением химических веществ или с их отменой;
9. головные боли, связанные с внеочередной инфекцией;
10. головные боли, обусловленные метаболическими нарушениями;
11. головные или лицевые боли, вызванные патологией черепа, шеи, глаз, ушей, носа, придаточных пазух, зубов, рта или других структур черепа и лица;
12. краниальные невралгии, болезненность нервных стволов и деафферентационные боли;
13. неклассифицируемые головные боли.

Первые 4 вида относятся к идиопатическим головным болям, остальные виды (5-12) – к симптоматическим головным болям.

Даже простое перечисление основных видов симптоматических головных болей свидетельствует о том, что диагностика и лечение головных болей представляет собой междисциплинарную проблему, заслуживающую внимания врачей всех специальностей и, прежде всего, врачей общей практики.

И, тем не менее, несмотря на распространенность головных болей, и пациенты, и врачи часто недооценивают эту проблему. Очень многие пациенты испытывают головные боли достаточно часто, но при этом далеко не всегда обращаются к врачам. И даже в этом случае, нередко по причине субъективных и объективных факторов, обследование оказывается весьма поверхностным, а лечение ограничивается назначением простых болеутоляющих средств. А ведь при многих серьезных заболеваниях (опухоль мозга, инсульт, аневризма и т.д.) головная боль является первой жалобой, с которой пациент обращается к врачу. В таких случаях жизнь пациента напрямую связана с правильностью и своевременностью поставленного диагноза.

Несмотря на то, что опасные для жизни головные боли встречаются редко (угрожающие жизни причины лежат в основе головной боли менее чем в 5% случаев, и менее чем 15% случаев являются результатом серьезного неврологического заболевания [50]), необходимо знать при наличии каких симптомов следует немедленно обращаться к врачу. Вот эти симптомы, требующие экстренной диагностики и лечения [45, 48, 50]:

1. приступы головной боли начались недавно и внезапно и их интенсивность нарастает с каждым днем;
2. внезапно изменились характер, частота или интенсивность приступов хронической головной боли;
3. постоянные多月месячные головные боли без "светлых" промежутков, неподдающиеся терапии;
4. упорная односторонность головной боли;
5. зависимость возникновения головной боли или изменения ее интенсивности от положения головы и тела, физической нагрузки, резкого движения;
6. головная боль сопровождается непреходящими неврологическими расстройствами – нарушение зрения, речи, чувствительности, двигательной активности, рвота, фото- и фонофобия, угнетение сознания;

7. головная боль сопровождается изменением различных физиологических показателей (сердечные шумы, лихорадка, нарушении функции почек, отклонения в анализах крови и мочи, давление свыше 200/120 и т.д.);
8. головная боль началась после 50 лет, в раннем детстве или же через несколько суток или недель после травмы головы.

Головные боли, сопровождающиеся вышеперечисленными симптомами, требуют консультации невропатолога и нейрохирурга и более углубленного обследования инструментальными средствами – компьютерной томографией и магнитно-резонансной томографией.

Несмотря на широкое распространение головных болей, правильная диагностика головной боли остается значительной проблемой, т.к. при этих расстройствах наличие конкретных патологических симптомов при общемедицинском и неврологическом обследовании скорее исключение, чем правило. Каких-либо объективных методов измерения или оценки непосредственно головной боли практически не существует. Кроме того, диагностику головных болей усложняет наличие смешанных форм головной боли – когда у пациента одновременно отмечаются приступы, относящиеся к различным типам головных болей. Особенно часто встречается сочетание мигрени и головной боли напряжения – около 20% пациентов страдают этой смешанной формой головной боли. [45].

Кроме сочетания различных форм головной боли часто встречается трансформация одной формы головной боли в другую, например, мигрени в хроническую головную боль напряжения, когда с течением времени происходит снижение интенсивности приступов, нарастание их частоты и присоединение признаков головной боли напряжения. Причиной такой трансформации зачастую является неадекватно назначенное лечение или самолечение. Самолечение, выраженное в неадекватно большом приеме анальгетиков, может вызвать головную боль или усугубить уже существующую головную боль, переводя ее в хроническую форму – это т. наз. абзусные головные боли.

В таких условиях основная нагрузка в вопросах диагностики ложится на анамнез. Правильно собранный анамнез способствует определению истинной природы головной боли. Поэтому так важно создание стандартной формы – вопросника для сбора анамнеза, который в обязательном порядке должен включать в себя следующие основные пункты [47]:

1. Возраст начала приступов головной боли.

Большинства идиопатических головных болей (мигрень, головная боль напряжения, кластерная цефалгия, хроническая пароксизмальная гемикрания) характеризуются началом в детские (после 10 лет) и юношеские годы или хотя бы до 30-35 лет. Если острая головная боль возникает у людей более старшего возраста (особенно после 50 лет) или у детей младше 10 лет, прежде всего необходимо исключить органическую патологию.

2. Продолжительность жалоб.

Идиопатические головные боли, как правило, имеют длительный анамнез. Между приступами наблюдаются разные по длительности "светлые промежутки", когда пациенты чувствуют себя абсолютно здоровыми. Внезапно возникшая острая интенсивная боль у взрослых, сопровождающаяся рядом неврологических симптомов, или же непреходящая головная боль требует неотложной медицинской помощи.

3. Частота и продолжительность приступа головной боли.

Каждый вид идиопатической головной боли имеет четкие временные рамки для продромальных периодов и ауры, самих приступов и "светлых" промежутков между ними [47, 49]. Частота приступов также учитывается в критериях диагностики. Так, если приступов мигрени, как правило, не бывает более 2 за сутки, за этот же промежуток времени может быть до 5 приступов кластерной цефалгии и около десятка приступов хронической пароксизмальной гемикрании [47].

4. Локализация.

Локализация зависит от типа головной боли и является при головной боли напряжения двусторонней, диффузной; при мигрени, кластерной цефалгии и хронической пароксизмальной гемикрании – односторонней, при мигрени чаще в области виска, при кластерной цефалгии и хронической пароксизмальной гемикрании – в области лба и глаза.

5. Характер и интенсивность головной боли.

Эти два параметра характеризуются высокой мерой субъективности. И тем не менее, головные боли в порядке снижения интенсивности располагаются следующим образом: кластерная цефалгия – мигрень – хроническая пароксизмальная гемикрания – головная боль напряжения. По характеру типичная мигренозная головная боль является пульсирующей, но иногда

одновременно могут присутствовать жалобы и на чувство сдавления или сжатия. Головная боль напряжения сжимает голову наподобие каски. При кластерной цефалгии и хронической пароксизмальной гемикрании пациентам кажется, что в голове развели огонь и он выжигает глаз изнутри.

6. Время возникновения головной боли и провоцирующие факторы.

Большинство головных болей не имеют связи с временными показателями. Исключение составляет кластерная цефалгия. Приступы этой головной боли возникают во время кластерных периодов, начинаясь каждый день по утрам. Приступы кластерной цефалгии характеризуются сезонностью и, как правило, возникают весной или осенью. Головная боль напряжения может быть спровоцирована переменной погоды, физической или умственной усталостью, недостающим или избыточным сном. Абузусная головная боль может быть спровоцирована большими дозами лекарственных средств или их отменой. Повороты головы и шеи способны провоцировать проявления хронической пароксизмальной гемикрании.

Наиболее изученными являются факторы, вызывающие приступы мигрени. К ним относятся:

- нарушение режима питания;
- продукты, богатые тирамином, шоколад, какао, кофе, красные вина, цитрусовые фрукты, блюда с острыми приправами и маринадами;
- нарушение режима сна;
- нарушение гормонального фона у женщин;
- избыточный свет, его мелькание, шум, резкая смена температур, нахождение в душном или сильно ароматизированном помещении;
- значительное физическое напряжение
- состояние острого или хронического эмоционального стресса
- курение.

7. Сопровождающие симптомы.

Такие симптомы, как тошнота, рвота, фоно- и фотофобия могут сопровождать как мигрень, так и любую другую головную боль высокой интенсивности.

Наличие продромального периода с необоснованными изменениями настроения, выраженной физической активностью, отсутствием аппетита или

обостренным чувством голода и следующая за этим аура являются типичными признаками мигрени с аурой.

Выраженный односторонний вегетативный синдром обычно сопровождает кластерную цефалгию и хроническую пароксизмальную гемикранию.

Тревожно-депрессивный синдром больше характерен для головной боли напряжения. При кластерной цефалгии в момент приступа отмечается психомоторное возбуждение.

8. Ухудшающие и облегчающие факторы.

Изменение интенсивности головной боли в ответ на определенные действия позволяют уточнить причину головной боли. Например, любое напряжение, кашель или опускание головы вниз приводит к усилению головной боли в случае повышенного внутричерепного давления, отита или синусита.

В случае мигрени головная боль усиливается при хождении по лестнице, чего не происходит при головной боли напряжения.

Больные с мигренью предпочитают покой и тишину в затемненном помещении, тогда как при кластере их одолевает беспокойство и они постоянно мечутся не находя себе места.

У пациентов с головной болью напряжения становится ярко выраженной апатия или депрессия, они плохо переносят любой шум.

Среди вышеперечисленных характеристик головной боли одни факторы имеют первостепенное значение с точки зрения диагностики, характеризуются более высокой мерой объективности и являются специфичными для того или иного типа головной боли. Другие факторы – более субъективны, имеют вспомогательное значение и служат для уточнения диагноза головной боли при сопоставлении их с другими, диагностически более значимыми факторами.

На протяжении многих лет, когда не существовало четких диагностических критериев для различных головных болей и врачи были достаточно свободны в своих предпочтениях на множестве вышеперечисленных факторов, такие понятия как мигрень, кластерная цефалгия, хроническая пароксизмальная гемикrania и даже головная боль напряжения составляли единый синдром без принципиальной разницы в терапевтических подходах [47]. Только после опубликования Международной классификации головных болей, содержащей диагностические критерии для каждого вида головной боли,

появилась возможность четко разграничить различные заболевания и синдромы, имеющие в качестве основного своего проявления головную боль.

Приведем краткое описание и диагностические критерии каждого вида идиопатических головных болей.

Мигрень [45, 48, 51, 52]:

Описание. Мигрень – это периодически повторяющиеся приступы интенсивной головной боли пульсирующего характера, чаще односторонней, длящиеся от 3 ч. до 3 суток, но не более, локализующиеся в одной половине головы, преимущественно в глазнично-лобно-височной области, усиливающаяся от физической нагрузки, сопровождающаяся тошнотой, рвотой, непереносимостью яркого света и громких звуков (фото- и фонофобией), а также сонливостью и вялостью после приступа. Приступы начинаются в молодом возрасте и имеют наследственный характер.

Мигренью страдает до 30% населения земного шара. Практически все люди (75-90%) хотя бы раз в жизни перенесли приступ мигренозной головной боли. Чаще болеют женщины (3:2, 4:2) преимущественно молодого возраста (18-35 лет). Начало соответствует возрасту 18-20 лет, однако наибольшая частота отмечена несколько позже, в возрасте 30-33 лет (80% случаев). По современной классификации выделяют мигрень с аурой и мигрень без ауры. Первая встречается в 15-18%, а вторая составляет 80% мигренозных атак. В детском возрасте мигрень, как правило, не превышает 10%. После 50 лет мигрень как самостоятельное заболевание не встречается. Доказана и определенная роль наследственных факторов. Так, если приступы мигрени были у обоих родителей, риск заболевания потомков достигает 60-90%. Если приступы были у одной матери, риск – 72%, если у одного отца – 20%. Наследственная отягощенность для мигрени без ауры составляет 71%, в случае мигрени с аурой этот показатель равен 48%.

Диагностические критерии.

Мигрень без ауры [45, 49, 51].

- А. Как минимум 5 атак мигрени, отвечающих критериям В-D.
- В. Длительность атак от 4 до 72 часов (у детей до 15 лет – от 2 до 48 часов).
- С. Головная боль имеет, по меньшей мере, 2 из перечисленных ниже признаков:
 - 1. односторонняя локализация;
 - 2. пульсирующий характер;

3. средняя или значительная интенсивность боли, снижающая или полностью препятствующая активности больного;
 4. усугубление боли при хождении по лестнице или аналогичной физической активности;
 5. указание в анамнезе на смену сторон головной боли.
- D. Наличие хотя бы одного из следующих, сопутствующих симптомов:
1. тошнота и/или рвота;
 2. фотофобия или фонофобия.
- E. Как минимум одно из нижеперечисленных обстоятельств:
1. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют исключить заболевания, перечисленные в разделах 5 – 11 Международной классификации головных болей [49];
 2. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют предположить наличие подобного заболевания, но оно исключается после дополнительного и детального обследования;
 3. наличие подобного заболевания подтверждается, но приступы мигрени являются самостоятельными и не связаны с ним по времени возникновения.

Мигрень с аурой [45, 49].

- A. Как минимум 2 атаки, соответствующие критерию B.
- B. По крайней мере 3 из нижеперечисленных признаков:
1. один или более обратимых симптомов ауры, указывающих на фокальную дисфункцию коры головного мозга и/или мозгового ствола;
 2. по крайней мере 1 симптом ауры, который развивается в течение более чем 4 минут, или 2 или более последовательно развившихся симптомов ауры;
 3. ни один из симптомов ауры не длится более 60 мин, если отмечается более одного симптома ауры, то допустимая длительность ауры пропорционально увеличивается;
 4. светлый промежуток между аурой и началом головной боли – менее 1 часа, головная боль может предвещать либо начинается одновременно с аурой.

С. Как минимум одно из нижеперечисленных обстоятельств:

1. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют исключить заболевания, перечисленные в разделах 5 – 11 Международной классификации головных болей [49];
2. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют предположить наличие подобного заболевания, но оно исключается после дополнительного и детального обследования;
3. наличие подобного заболевания подтверждается, но приступы мигрени являются самостоятельными и не связаны с ним по времени возникновения.

Различают следующие формы мигрени с аурой [49, 51, 53]:

1. Офтальмологическая мигрень (дефекты зрения, мерцающие скотомы).
2. Ретинальная мигрень (центральная или парацентральная скотома и преходящая слепота на один или оба глаза).
3. Офтальмоплегическая (преходящие глазодвигательные нарушения – птоз века, расширение зрачка, двоение в глазах).
4. Гемиплегическая (преходящий моно- или гемипарез).
5. Афатическая (преходящая частичная или полная моторная или сенсорная афазия, дизартрия).
6. Вестибулярная (преходящие головокружения, нистагм, пошатывания при ходьбе).
7. Мозжечковая (преходящие координационные расстройства).
8. Базилярная (начинается с нарушения зрения, затем двусторонняя слепота, головокружение, атаксия, дизартрия, парестезии).
9. Мигренозная аура без головной боли.

Осложненные формы мигрени:

1. Мигренозный статус – серия тяжелых, следующих один за другим приступов с многократной рвотой, или один, но очень тяжелый и продолжительный приступ.
2. Мигренозный инфаркт – инфаркт с обратимым неврологическим дефицитом. Первые признаки надвигающейся мигрени появляются, как правило, за 24 часа – т.наз. продромальный период. Например, колебания настроения, выражающиеся

в неожиданной раздражительности или гиперактивности, повышенный аппетит (особенно хочется сладкого), выраженная зевота, всевозможные запахи и ощущения. Для многих больных в эти минуты предметы принимают причудливые формы – т.наз. "синдром Алисы в стране чудес". Далее следует непосредственно головная боль или симптомы ауры.

Патогенез [45, 48, 51].

Патогенез этого заболевания весьма сложен, многие аспекты еще недостаточно изучены. Наиболее распространенными в настоящее время являются следующие теории: сосудисто-нейрогенная, биохимическая, вегетативная, а также психологические аспекты.

Сосудистая теория. Церебральные кровеносные сосуды делятся на две системы. Первая система – это иннервированные крупные артерии основания мозга, нияльные артерии на его поверхности, экстракраниальные артерии и артерии скальпа. Что касается парихиматозных артерий, расположенных в толще мозга, то они известны как неиннервированная сосудистая система. Это артерии реагируют только на локальные метаболические изменения мозговой ткани.

В фазе ауры происходит агрегация (слипание) тромбоцитов и выделение из них большого количества серотонина. Внезапное повышение серотонина является причиной сужения иннервированной системы сосудов и следующего за этим снижения мозгового кровотока. При значительном уменьшении кровотока наблюдаются симптомы ауры, исходящие из участка мозга, наиболее пострадавшего от ишемии.

На II фазе агрегация тромбоцитов снижается и уровень серотонина в крови уменьшается. В ответ на снижение мозгового кровотока неиннервированные парихиматозные артерии расширяются, стремясь удовлетворить потребность мозга в кислороде и питательных веществах. Затем происходит расширение всех артерий, в стенках сосудов развивается асептическое воспаление. Именно это воспаление совместно с перерастяжением стенок сосудов считается основной причиной пульсирующей головной боли.

На III фазе восстанавливается нормальный уровень серотонина, артерии приобретают свои обычные размеры. Однако остаются воспаление и отек стенок сосудов. Несмотря на то, что приступ мигрени уже позади, головная боль

продолжается – пульсирующая боль постепенно стихает, уступая место постоянной.

Поскольку приступы мигрени преобладают у женщин и часто связаны с определенными фазами менструального цикла, имеется указание на связь приступов с уровнем эстрогенов, способствующих в свою очередь увеличению содержания серотонина.

Клиника [45, 48, 51, 53].

В клинической картине заболевания можно выделить несколько фаз:

I фаза – продромальный период: колебания настроения, повышенный аппетит, выраженная зевота, усиление или притупление восприятия и т.д. Длительность фазы – до 24 часов.

II фаза – период непосредственно головной боли. Он характеризуется наличием головной боли с клиническими признаками, данными в описании мигрени. Во время той фазы пациент стремится уединиться в тихой комнате с холодной мокрой повязкой на голове и пытается уснуть, что может принести облегчение. Головной боли может предшествовать аура. При этом могут определяться дефекты поля зрения, мерцающие линии, скотомы и т.д.

III фаза – постдромальный период: в этот период пациенты часто отмечают упадок сил, боль в мышцах, психическую астенизацию. У некоторых больных, напротив, отмечается эйфория, склонность к немотивированным поступкам.

Провоцирующие факторы [45, 47, 51, 53]:

- 1) пребывание натошак;
- 2) некоторые продукты и блюда, богатые тирамином, такие как сыры, шоколад, какао, кофе, красные вина, citrusовые фрукты, блюда с острыми приправами и маринадами;
- 3) нарушение режима сна;
- 4) нарушение гормонального фона у женщин до или во время менструаций, в постменопаузальном периоде, во время приема противозачаточных препаратов;
- 5) избыточный солнечный или другой свет, эффекты его мелькания, шум, резкая смена температур, нахождение в душном или сильно ароматизированном помещении;
- 6) значительное физическое напряжение во время работы или занятий спортом;
- 7) состояние острого или хронического эмоционального стресса;

8) курение.

Психогенные аспекты [45, 48, 51].

В анамнезе хронический стресс или масса психотравмирующих ситуаций. Для этих больных характерны выраженные эмоциональные и личностные изменения: это амбициозные личности, обычно адаптированные, образованные, но весьма чувствительные и ранимые, с нарцисстическими тенденциями. Значимость головы в их схеме тела весьма высока, и приступы боли возникают в тот момент, когда появляется ощущение угрозы определенному уровню притязаний.

Лечение [45, 48, 51, 53].

Лечение самого приступа следует начинать как можно раньше. Одной из первых принятых мер должно быть экранирование раздражения (затемненная комната, отсутствие громких звуков). В дополнение к этому больным следует указать на способы снятия напряжения (аутогенная тренировка, расслабление мышц, занятие йогой и т.д.)

Медикаментозное лечение складывается из двух направлений: купирование приступа и межприступная терапия.

При наличии у пациентов приступов мигрени слабой или умеренной интенсивности, продолжительностью не более 1 дня, с частотой приступов 1-2 раза в месяц рекомендуется неспецифическая терапия, которая включает в себя использование простых анальгетиков.

В том случае, если интенсивность мигренозной атаки достаточно высока и носит затянувшийся характер (24-48 ч и более) или частота приступов превышает 3 мигренозных дня в месяц, показано назначение специфической терапии.

Пациентам, которые имеют количество мигренозных атак более 3 в месяц, а также при наличии затяжных приступов показана ежедневная превентивная терапия – аспирин, b-адреноблокаторы.

Головная боль напряжения (ГБН).

Описание [45, 48, 52, 53, 54].

ГБН – это головная боль, возникающая у людей с высоким уровнем тревожности, с клинически явной или маскированной депрессией, развивающаяся во время или после воздействия различных стрессовых факторов, протекающая по типу сдавления («каска» или «обруча» вокруг

головы), как правило, без четкой локализации, слабой или умеренной интенсивности, неусиливающаяся от физической нагрузки, изредка сопровождающаяся фото- или фонофобией, иногда тошнотой и длящаяся от 30 мин до 7 суток. Существенно, что сопровождающие симптомы не представлены вместе, как при мигрени, а встречаются изолированно, наблюдаются редко и неярко выражены.

В зависимости от длительности болевых ощущений выделяют две формы ГБН: **эпизодическую** – когда количество дней с головной болью не превышает 15-ти в месяц (менее 180 в год), и **хроническую** – когда число эпизодов головной боли более 15-ти в месяц или свыше 180 дней в году. Эпизодические ГБН имеют менее тяжелое течение, и основную роль в их возникновении играют тревожные расстройства. Хроническая ГБН всегда интенсивнее, и первостепенное значение в их развитии имеет депрессия. Внутри каждой из форм ГБН выделяют подгруппы с напряжением или без напряжения перикраниальной мускулатуры.

Распространенность [45,55].

ГБН представляет собой широко распространенное заболевание, которое значительно ухудшает качество жизни пациентов и может привести к потере трудоспособности. Среди различных вариантов головной боли ей принадлежит ведущее место.

Уровень распространенности ГБН достигает 86% у женщин и 65% у мужчин. Средний возраст больных составляет 30-35 лет.

Обычно течение заболевания благоприятное, но если приступы не достаточно эффективно купируются или повторяются с возрастающей частотой, то в дальнейшем головная бол становится почти ежедневной и переходит в хроническую форму, сопровождая больного всю его жизнь. Нередко ГБН встречается и у родственников пациентов. Иногда она может чередоваться с пароксизмами мигрени. У большинства больных отмечаются проявления синдрома вегетативной дистонии, 40% пациентов имеют очевидные признаки депрессии. В 54% случаев ГБН выявляется у работников умственного труда, в 34% – у людей, занятых физическим трудом, 12% не занимается трудовой деятельностью по состоянию здоровья. Для 20% крайне затруднительно выполнение обязанностей. Социальная активность и возможность развлечений полностью подавлены у 30% больных.

Диагностические критерии.

Эпизодическая ГБН [45, 49].

- А. Как минимум 10 эпизодов головной боли в анамнезе, удовлетворяющих пунктам В-D.
- В. Длительность головной боли от 30 мин до 7 суток.
- С. Как минимум 2 из нижеперечисленных характеристик:
 - 1. неп пульсирующий стягивающий характер боли (по типу «каска», «шлема», «обруча»);
 - 2. слабая или умеренная интенсивность боли, полностью не нарушающая обычную деятельность пациента;
 - 3. двусторонняя диффузная боль;
 - 4. хождение по лестнице или аналогичная физическая активность не усугубляет боль;
- Д. Оба из следующих симптомов:
 - 1. нет рвоты, редко тошнота, может возникать снижение аппетита;
 - 2. или фотофобия, или фонофобия (одновременно оба симптома не наблюдаются).
- Е. Как минимум одно из нижеперечисленных обстоятельств:
 - 1. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют исключить заболевания, перечисленные в разделах 5 – 11 Международной классификации головных болей [МКГБ];
 - 2. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют предположить наличие подобного заболевания, но оно исключается после дополнительного и детального обследования;
 - 3. наличие подобного заболевания подтверждается, но приступы ГБН являются самостоятельными и не связаны с ним по времени возникновения.

Хроническая ГБН [45, 49].

- А. Средняя частота эпизодов головной боли более 15 дней в месяц (или более 180 дней в году) при длительности заболевания не менее 6 месяцев.
- В. Как минимум 2 из нижеперечисленных характеристик:
 - 1. неп пульсирующий стягивающий характер боли;

2. слабая или умеренная интенсивность боли, полностью не нарушающая обычную деятельность пациента;
3. двусторонняя диффузная боль;
4. хождение по лестнице или аналогичная физическая активность не усугубляет боль;

С. Оба из следующих симптомов:

1. нет рвоты;
2. не более одного симптома из следующих: тошнота, фотофобия или фонофобия .

Д. Как минимум одно из нижеперечисленных обстоятельств:

1. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют исключить заболевания, перечисленные в разделах 5 – 11 Международной классификации головных болей [49];
2. история заболевания и результаты общемедицинского и неврологического обследований позволяют предположить наличие подобного заболевания, но оно исключается после дополнительного и детального обследования;
3. наличие подобного заболевания подтверждается, но приступы ГБН являются самостоятельными и не связаны с ним по времени возникновения.

При обеих разновидностях ГБН выделяют 2 подтипа в зависимости от наличия или отсутствия дисфункции перикраниальных мышц, т.е. болезненного напряжения в области мышц лица, скальпа, задней поверхности шеи, плечевого пояса. Для установления диагноза «ГБН с дисфункцией перикраниальных мышц» необходимо наличие одного из следующих условий:

1. повышенная чувствительность (болезненность) перикраниальных мышц, выявленная пальпаторно или с помощью прессионного альгометра;
2. Повышенная ЭМГ-активность мышц скальпа в покое или при выполнении физиологических проб.

Патогенез [45, 48].

Основными факторами формирования ГБН являются неврологические особенности личности и наличие хронического стресса. Это сопровождается развитием тревожно-депрессивного синдрома и нарушением функционального

состояния системы «тройничный-лицевой нерв». В результате возникает гипертонус и гипоксия перикраниальных и мимических мышц, что выражается проявлением головной боли.

Клиника [45, 48, 52, 53, 54].

ГБН характеризуется монотонной, тупой, давящей, стягивающей, ноющей болью практически не бывает боли пульсирующего характера. Довольно часто пациенты жалуются не столько на боль, сколько на чувство сдавления или сжатия головы. В отличие от мигрени ГБН не имеет четкой локализации. Она, как правило, двусторонняя с «эпицентром» в области лба, затылка или темени, может отмечаться иррадиация в оба виска, лицо, плечи, сопровождающаяся чувством давления на глазные яблоки. На вопрос о том, когда и при каких условиях возникает головная боль, пациенты дают неопределенный ответ.

Типичные эпизоды ГБН развиваются во время или после стресса. Эти ощущения усиливаются от ношения плотного головного убора. Интенсивность ГБН варьирует в течение дня. Головная боль не усугубляется обычной физической нагрузкой и после приема алкоголя, иногда сопровождается тошнотой (18%), фотофобией (7%), фонофобией (14%), анорексией (28%). Учитывая представленные выше данные о характере, локализации и интенсивности ГБН, а также то, что 10% больных параллельно страдают мигренью, субъективное описание пациентами эпизода ГБН может быть очень путаным.

По данным ряда исследований, у 1/3 пациентов с ГБН выявляются стрессы и конфликты в детском возрасте. Ситуации хронической психотравмирующей обстановки в детстве нередко сочетаются с гиподинамией или чрезмерными физическими напряжениями. Практически у всех больных в анамнезе выявляются стрессы и конфликты, связанные с возникновением и обострениями ГБН.

Неврологические симптомы при ГБН не выявляются. Обычно ГБН сопровождается проявлениями выраженной вегетативной дисфункции. В структуре синдрома вегетативной дистонии наиболее часто выявляются различные боли: сердечные (50-59%), абдоминальные (30-35%). Кроме этого пациенты могут отмечать ощущение «замирания», «остановки» или «перебоев» в сердце (20-25%); жаловаться на ощущение «стянутости» в горле (40-45%).

Часто отмечаются нарушения сна. Это обусловлено не столько самими головными болями, сколько сопровождающим их эмоциональным состоянием – депрессией или страхом. Если головная боль вызвана тревогой или страхом, отмечается затруднение засыпания (78%). Если головная боль обусловлена депрессией, то отмечаются частые ночные пробуждения и недостаточная общая длительность сна с ранним окончательным пробуждением (40%).

Пациенты с ГБН плохо переносят шум, вызывающий у них чувство раздражения, не способны к длительной концентрации внимания. При исследовании эмоциональной сферы у 60-80% пациентов выявляются различные эмоциональные нарушения – повышенная возбудимость, тревога, депрессия.

Провоцирующие факторы [48, 52].

Широкая распространенность ГБН обусловлена следующими причинами

1. Психоэмоциональный стресс и аффективные состояния (тревога и депрессия). При этом депрессия может быть представлена в скрытой, маскированной форме. В подобных случаях у больных преобладают жалобы на головную боль, усталость, быструю утомляемость, повышенную раздражительность, плохой сон и аппетит.
2. Мышечный стресс. Это длительное напряжение мышц при антифизиологических позах. Особое значение имеет перенапряжение мышц скальпа, шейных мышц, мышц плечевого пояса, глазных мышц. Такое перенапряжение мышц возникает после работы на компьютере, при вождении автомобиля на большие расстояния, после работы с мелкими деталями, требующей определенной позы и напряжения зрения. Как правило, в таких случаях головная боль ослабевает после даже непродолжительного отдыха, смены позы, сна.
3. Весьма значительную роль среди причин ГБН играет лекарственный (абусный) фактор. Избыточный прием анальгетиков или транквилизаторов может стать причиной ГБН. Это тем более важно, т.к. именно анальгетики и транквилизаторы неоправданно широко назначаются больным с ГБН, это приводит к хронизации заболевания и ухудшает его течение. Кроме того, больные принимают избыточное количество препаратов этих групп при самолечении.

Лечение [45, 53].

При лечении ГБН необходимо сочетать психологические, физиотерапевтические и фармакологические методы. При эпизодической ГБН приступы головной боли эффективно купируются приемом обычных анальгетиков. Также рекомендуются курсы расслабляющего массажа, аутогенной тренировки, релаксация.

При хронической ГБН врач должен выяснить, что лежит в основе головной боли – депрессия или страх. При ГБН, обусловленных тревогой и страхом, обычно используют транквилизаторы и психологические методы лечения. При ГБН, обусловленных депрессией, применяют антидепрессанты.

Кластерная головная боль (КЦ).

Описание [45, 53].

Кластерная головная боль – это периодически повторяющиеся приступы интенсивной головной боли сверлящего характера, длящиеся от 3 до 16 недель, при длительности одного приступа от 15 до 90 минут, возникающие во время сна, локализующиеся позади или вокруг глаза, с иррадиацией в висок, челюсти, нос, подбородок, сопровождающиеся слезотечением, заложенностью носа, инъекцией конъюнктивы на стороне раздражения, потливостью.

Распространенность [45, 53].

Эта форма головной боли встречается менее чем в 0,08% случаев. Большинство пациентов с КЦ – это мужчины (5:1), средний возраст которых от 20 до 30 лет.

Критерии диагностики [45, 49, 53].

1. Наличие многократных резких болевых односторонних атак в области глаза, периорбитальной и височных областях, длительностью от 15 до 180 минут от 1 до 5 атак в день, преимущественно в ночное время.
2. Сопровождающие вегетативные проявления на стороне головной боли.
3. Длительность болевого периода 1-3 месяца с последующим периодом ремиссии в течение 6-12 месяцев, но не менее 2-3 недель – в случае эпизодической КЦ.
4. Отсутствие ремиссий при характерной клинической картине, или длительность светлых промежутков менее 2 недель – в случаях хронической КЦ.

Патогенез [45, 53].

Механизмы развития КЦ сложны и недостаточно изучены. Предполагается, что в основе КЦ лежат сосудистые механизмы.

Клиника [45, 53].

Приступы КЦ обычно начинаются в ночное время или через несколько минут, но не более часа, после пробуждения. И затем боль повторяется каждые 24 часа во время всего кластерного периода. Болевые ощущения настолько мучительны, что могут привести к суицидальным попыткам. Неврологической симптоматики у больных КЦ обычно не обнаруживается.

Хроническая пароксизмальная гемикрания (ХПГ) [45, 49].

ХПГ встречается с частотой 0,3-0,5%. Женщины болеют гораздо чаще мужчин (8:1). Средний возраст заболевших – 40 лет. По клиническим проявлениям ХПГ имеет много общего с КЦ. Это ежедневные приступы интенсивной периорбитальной боли с возможной иррадиацией в лобно-височную область, а, иногда, и на всю половину головы, в шею, ухо, плечо. Боли сопровождаются слезотечением, инъекцией конъюнктивы, заложенностью носа и ринореей на стороне головной боли. Длительность одного пароксизма от 1 до 40 минут с частотой 10-30 приступов в сутки. Обычно, чем приступы чаще, тем они короче. Головная боль длится без светлых промежутков в течение месяцев, а то и лет. Здесь нет определенных периодов боли и ремиссий, как при КЦ.

Патогенез этого заболевания до сих пор совершенно не ясен. Лабораторные и инструментальные методы бесполезны в плане диагностики.

Три диагностических критерия позволяют отличать ХПГ от КЦ [45]:

1. отсутствие пучковости;
2. преобладание женщин;
3. 100%-ая эффективность индометацина.

4.2. Описание клинического материала.

Как уже было сказано в предыдущем разделе, среди головных болей ведущее место по распространенности занимают идиопатические головные боли. В свою очередь, среди идиопатических головных болей наиболее распространенными являются головная боль напряжения (70%) и мигрень (30%). Хроническая пароксизмальная гемикрания встречается в 0,3-0,5%, а кластерная цефалгия – всего лишь в 0,08% популяции [45]. Поэтому в этой работе основной упор сделан на дифференциальной диагностике головной боли напряжения и мигрени. Это обусловлено не только высокой

распространенностью этих двух форм головной боли, но и схожестью картин заболевания, наличием смешанных головных болей – мигрень + головная боль напряжения (20% пациентов). К тому же часто встречается трансформация мигрени в хроническую головную боль напряжения, когда с течением времени происходит снижение интенсивности приступов, нарастание их частоты и присоединение на разных этапах признаков головной боли напряжения. Очень часто это является результатом самолечения.

Обработке были подвергнуты данные анамнеза уже продиагностированных 204 пациентов. Этим пациентам был поставлен диагноз или головной боли напряжения (102 пациента), или мигрени (66 пациентов), или головной боли смешанного типа – мигрень + головная боль напряжения (36 пациентов).

В качестве основных симптомов, описывающих состояние пациента, были взяты следующие:

1. Возраст.
2. Пол.
3. Возраст, в котором начались приступы головной боли.
4. Причина головной боли.
5. Локализация головной боли – сторона, в которой локализована боль.
6. Локализация головной боли – область головы, в которой локализована боль.
7. Характер головной боли.
8. Интенсивность головной боли.
9. Продолжительность приступа головной боли.
10. Частота приступов головной боли.
11. Время возникновения или учащения головной боли.
12. Симптомы, предшествующие головной боли.
13. Сопровождающие симптомы.
14. Факторы, провоцирующие головную боль.
15. Ухудшающие и облегчающие боль факторы.
16. Питание.
17. Сон.
18. Поведение.
19. Стресс.
20. Социальный статус.

21. Наследственность.

22. Связь с менструацией, замужеством и беременностью.

Для описания того или иного симптома были использованы признаки следующего типа:

1. **Возраст** – многозначный признак, принимающий конечное число символьных значений:

- детский (< 10 лет)
- подростковый (≥ 10 лет и ≤ 15 лет)
- юношеский (≥ 16 лет и ≤ 20 лет)
- молодой (≥ 21 лет и ≤ 35 лет)
- средний (≥ 36 лет и ≤ 50 лет)
- пожилой (≥ 51 лет и ≤ 71 лет)
- старческий (≥ 71 лет)

2. **Пол** – бинарный признак, принимающий значения:

- женский
- мужской

3. **Возраст начала приступов** – многозначный признак, принимающий конечное число символьных значений:

- детский (< 10 лет)
- подростковый (≥ 10 лет и ≤ 15 лет)
- юношеский (≥ 16 лет и ≤ 20 лет)
- молодой (≥ 21 лет и ≤ 35 лет)
- средний (≥ 36 лет и ≤ 50 лет)
- пожилой (≥ 51 лет и ≤ 70 лет)
- старческий (≥ 71 лет)

4. **Причина головной боли** – многозначный признак, принимающий конечное число символьных значений:

- травма головы
- инфекция
- артериальная гипертензия

- сахарный диабет
- стресс
- начало менструации
- беременность
- другая причина
- беспричинная головная боль

Значения этого признака не являются взаимоисключающими, т.е. признак одновременно может принимать несколько значений.

5. Локализация головной боли (сторона) – лингвистический признак, значения которого образуют дерево понятий (Рис.5):

- A. то односторонняя, то двусторонняя
- B. всегда двусторонняя
- C. всегда односторонняя
- D. односторонняя и всегда на одно и той же стороне
- E. односторонняя и сторона периодически меняется

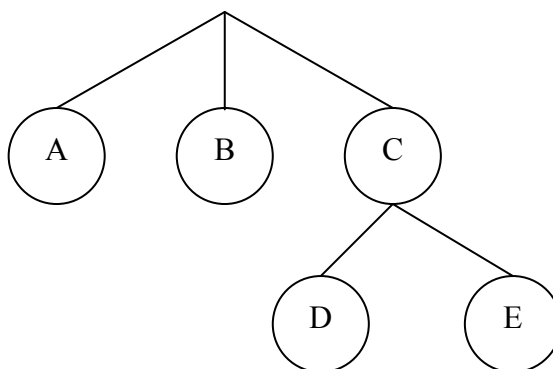


Рис. 34. Дерево понятий признака "Локализация головной боли (сторона)"

6. Локализация головной боли (область головы) – многозначный признак, принимающий конечное число символьных значений, которые не являются взаимоисключающими:

- голова
- полголовы
- лоб
- затылок
- темя
- висок
- глазница
- глаз
- шея

7. **Характер головной боли** – многозначный признак, принимающий символные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- пульсирующая
- давящая
- режущая, колющая

8. **Интенсивность головной боли** – многозначный признак, принимающий символные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- слабая
- умеренная
- сильная
- невыносимая
- не снижающая активности
- снижающая активность
- деятельность невозможна

9. **Продолжительность приступа головной боли** – лингвистический признак, каждый терм (значение) которого задается как нечеткое множество, определенное на числовом интервале $U = [0 \text{ мин}, 7 \text{ дн}]$

В качестве основных термов взяты следующие:

несколько минут	один час	полдня
несколько часов	полтора часа	один дня
несколько дней	два часа	два дня
одна минута	три часа	три дня
десять минут	четыре часа	четыре дня
полчаса	пять часов	пять дней
сорок пять минут	шесть часов	шесть дней
		семь дней

Каждое из этих нечетких множеств характеризуется функцией принадлежности следующего вида (Рис.35):

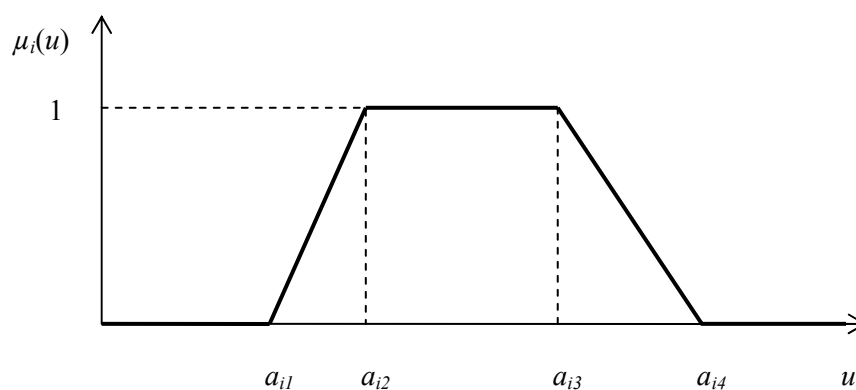


Рис. 35. Общий вид функций принадлежности основных термов признака "Продолжительность приступа головной боли".

которая в системе хранится в виде четверки чисел $\{a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}\}$, $a_{i1} < a_{i2} \leq a_{i3} < a_{i4}$.

Так как продолжительность приступа является интервалом, для описания всевозможных значений этого интервала вместо одного признака "продолжительность" используется пара лингвистических признаков:

"не менее чем T_i " и "не более чем T_j ",

где T_i и T_j – основные термы с функциями принадлежности $\{a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}\}$ и $\{a_{j1}, a_{j2}, a_{j3}, a_{j4}\}$ соответственно, $a_{j2} \geq a_{i2}$ и $a_{j3} \geq a_{i3}$.

Каждому производному терму "не менее чем T_i " сопоставляется функция принадлежности вида (Рис.36):

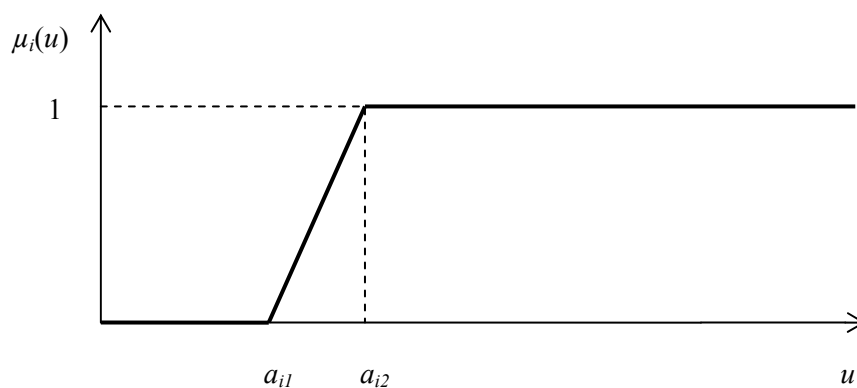


Рис. 36. Общий вид функций принадлежности производных термов "не менее чем T_i " признака "Продолжительность приступа головной боли".

и каждому производному терму "не более чем T_j " сопоставляется функция принадлежности вида (Рис.37):

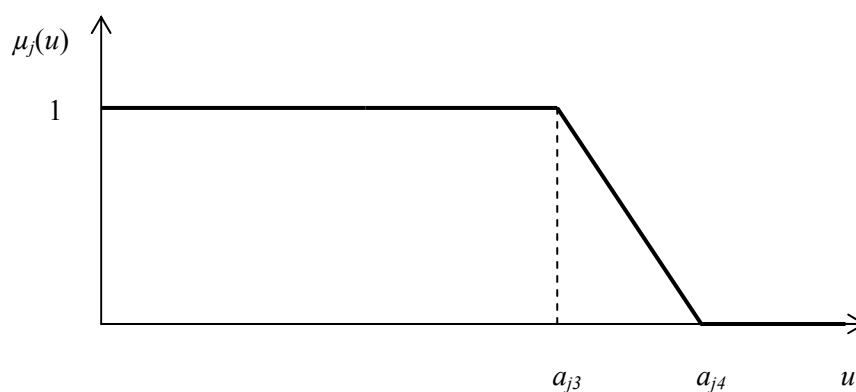


Рис. 37. Общий вид функций принадлежности производных термов "не более чем T_j " признака "Продолжительность приступа головной боли".

Выбор таких функций принадлежности вполне оправдан, так как каждый основной терм T_i эквивалентен высказыванию

"не менее чем T_i " и "не более чем T_i " ,

т.е. является пересечением соответствующих нечетких множеств. В результате применения формулы для функции принадлежности пересечения двух нечетких множеств [1, 17, 26, 27]

$$\mu_{T_i \cap T_j}(u) = \mu_i(u) \wedge \mu_j(u) = \min\{\mu_i(u); \mu_j(u)\} \text{ для } \forall u \in U$$

мы получаем исходную функцию принадлежности для терма T_i (Рис.35).

10. Частота приступов – многозначный признак, принимающий символьные значения:

- один раз в год
- несколько раз в год
- много раз в течение года
- один раз в месяц
- несколько раз в месяц
- много раз в течение месяца
- один раз в неделю
- несколько раз в неделю
- много раз в течение недели
- один раз в день
- несколько раз в день
- много раз в течение дня
- серия частых приступов сменяется светлым периодом
- почти каждый день

11. Время возникновения или учащения приступов – многозначный признак, принимающий символьные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- утро
- день
- вечер
- ночь
- весна

- лето
- осень
- зима
- определенные числа месяца
- не имеет значения

12. Предшествующие симптомы – многозначный признак, принимающий символичные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- черные пятна в поле зрения
- тяжесть в голове
- расстройство желудочно-кишечного тракта
- блестящие точки перед глазами
- непреодолимое желание принятия какой-либо еды
- онемение конечностей
- частая зевота
- быстрая утомляемость
- общая слабость
- перемена настроения

13. Сопровождающие симптомы – многозначный признак, принимающий символичные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- тошнота
- рвота
- фотофобия
- фонофобия
- онемение рук
- онемение ног
- холодные руки
- холодные ноги
- ухудшение зрения
- одеревенелость шеи

- скотома
- слезотечение на стороне боли
- заложенность носа на стороне боли
- насморк
- потливость лба и лица
- опущение века
- сужение зрачка
- покраснение лица
- бледность лица

14. **Провоцирующие факторы** — многозначный признак, принимающий символичные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- физическая усталость
- неприятные эмоции
- громкий разговор
- бритье лица, прикосновение к лицу
- пребывание в душном помещении
- неприятный запах
- жевание
- кашель
- многолюдие
- бессонница
- определенные лекарства
- курение или запах табачного дыма

15. **Ухудшающие и облегчающие факторы** — многозначный признак, принимающий символичные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- определенное положение головы усиливает головную боль
- физическая нагрузка усиливает головную боль
- эмоциональная нагрузка усиливает головную боль
- какая-то другая причина усиливает головную боль

- определенное положение головы уменьшает головную боль
- пребывание в покое уменьшает головную боль
- какая-то другая причина уменьшает головную боль

16. **Питание** – бинарный признак, принимающий символьные значения:

- регулярное
- нерегулярное

17. **Еда, провоцирующая головную боль** – многозначный признак, принимающий символьные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- шоколад
- кофе
- молоко
- сыр
- алкоголь
- орехи
- специи
- другая причина

18. **Длительность сна** – лингвистический признак, значения которого образуют дерево понятий (Рис.38):

- A. норма
- B. не норма
- C. меньше 6 часов
- D. больше 11 часов

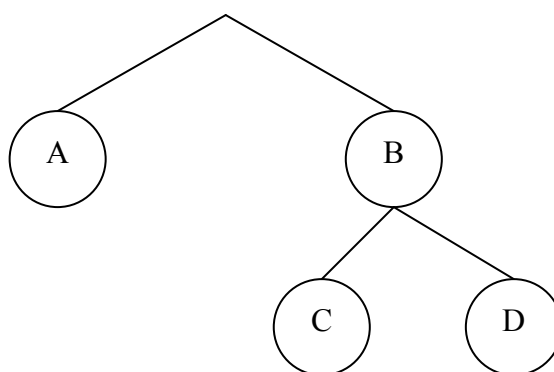


Рис. 38. Дерево понятий признака "Длительность сна"

19. Сон в "светлый" период – лингвистический признак, значения которого образуют дерево понятий (Рис.39):

- A. норма
- B. не норма
- C. частые пробуждения
- D. ранне пробуждение
- E. бессонница
- F. сонливость

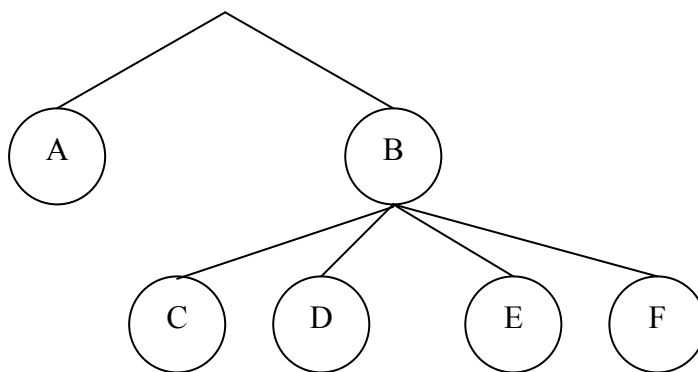


Рис. 39. Дерево понятий признака "Сон в светлый период "

Понятия с нижнего уровня не являются взаимоисключающими.

20. Сон в период головной боли – лингвистический признак, значения которого образуют дерево понятий (Рис.40):

- A. норма
- B. не норма
- C. частые пробуждения
- D. раннее пробуждение
- E. бессонница
- F. сонливость

Понятия с нижнего уровня не являются взаимоисключающими.

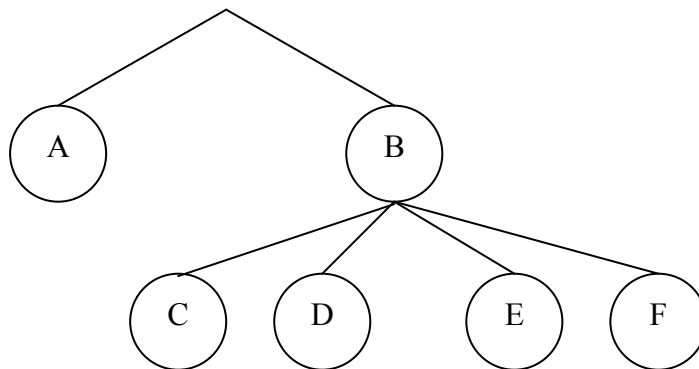


Рис. 40. Дерево понятий признака "Сон в период головной боли"

21. Начало приступа – многозначный дискретный признак, принимающий символные значения:

- во сне
- при засыпания
- при пробуждении

22. Поведение в светлый период – многозначный дискретный признак, принимающий символные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- норма
- легковозбудимый
- несдержанный
- депрессивный
- резкие колебания настроения

23. Поведение во время приступа головной боли – многозначный дискретный признак, принимающий символные значения, которые не являются взаимоисключающими:

- норма
- пытается быть спокойным

- возбужденный

24. Стресс – лингвистический признак, значения которого образуют дерево понятий (Рис.41):

- А. стресса не было
- В. был перенесен стресс
- С. был перенесен легкий стресс
- Д. был перенесен легкий стресс 1 раз
- Е. был перенесен легкий стресс несколько раз
- Ф. был перенесен легкий стресс много раз
- Г. был перенесен умеренный стресс
- Н. был перенесен умеренный стресс 1 раз
- И. был перенесен умеренный стресс несколько раз
- Ж. был перенесен умеренный стресс много раз
- К. был перенесен сильный стресс
- Л. был перенесен сильный стресс 1 раз
- М. был перенесен сильный стресс несколько раз
- Н. был перенесен сильный стресс много раз
- О. был перенесен катастрофический стресс
- Р. был перенесен катастрофический стресс 1 раз
- Q. был перенесен катастрофический стресс несколько раз
- Р. был перенесен катастрофический стресс много раз

Значения со второго уровня не являются взаимоисключающими.

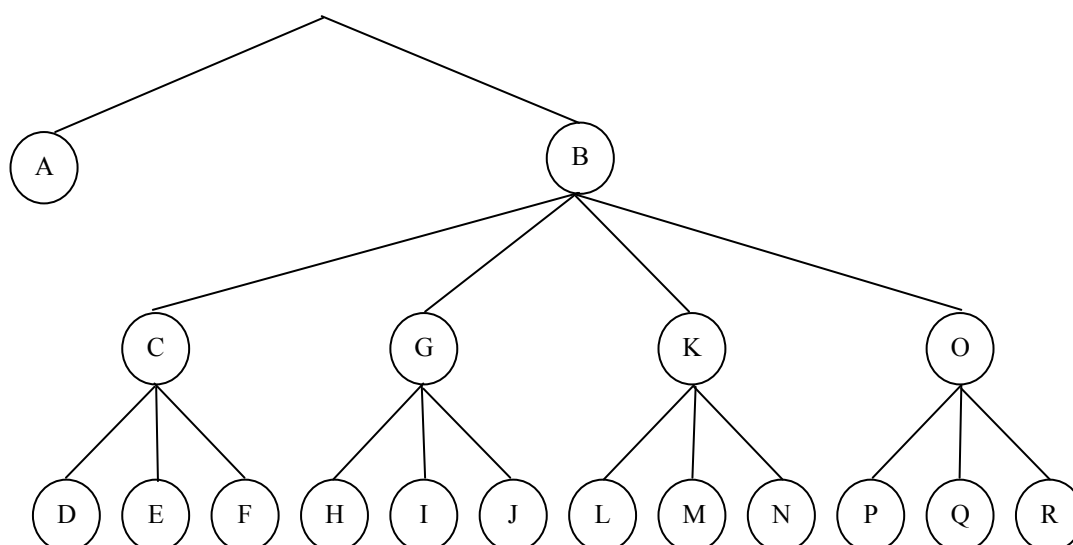


Рис. 41. Дерево понятий признака "Стресс"

25. Социальный статус – многозначный дискретный признак, принимающий
символьные значения, которые не являются
взаимоисключающими:

- взаимоотношения
- развлечение
- спорт
- физические упражнения
- жилищно-бытовые условия

26. Наследственность – лингвистический признак, значения которого образуют
дерево понятий (Рис.42):

- A. аналогичные головные боли отмечались в семье
- B. аналогичные головные боли отмечались у матери
- C. аналогичные головные боли отмечались у отца
- D. аналогичные головные боли отмечались у сестер или братьев
- E. аналогичные головные боли отмечались у других кровных
родственников

Значения со второго уровня не являются взаимоисключающими.

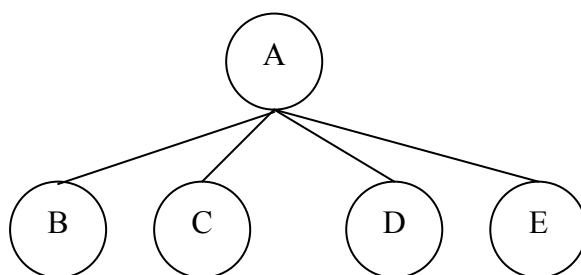


Рис. 42. Дерево понятий признака "Наследственность"

27. Связь с менструацией, замужеством и беременностью – многозначный
дискретный признак,
принимающий символные
значения:

- наличие менструации

- регулярность менструации
- отмечается связь с менструацией
- замужем
- отмечается связь с замужеством
- беременность
- отмечается связь с беременностью

4.3. Результаты обработки клинического материала и анализ функционирования экспертной системы.

Для формирования базы знаний были использованы данные анамнеза уже продиагностированных 204 пациентов. Этим пациентам был поставлен диагноз или головной боли напряжения (102 пациента), или мигрени (66 пациентов), или головной боли смешанного типа – мигрень + головная боль напряжения (36 пациентов).

В результате обработки этих данных были разыграны 40 концептов для головной боли напряжения и 40 концептов для мигрени с соответствующими степенями уверенности при пороге существенности, равном 0,75. При этом пороге существенности свойство дифференциации концептов для головной боли напряжения принимало значения в пределах 0,529 – 0,852, а для мигрени – в пределах 0,869 – 0,978.

С целью улучшения свойства дифференциации для концептов головной боли напряжения порог существенности был понижен до 0,65. Полученные в этом случае концепты характеризовались свойством дифференциации: для головной боли напряжения – в пределах 0,869 – 0,970, для мигрени – в пределах 0,869 – 1.

Окончательный результат формирования концептов:

$K = K_{10} \vee K_9 \vee K_{36} \vee K_{20} \vee K_{30} \vee K_{40}$ – для головной боли напряжения;

$K = K_{70} \vee K_{78} \vee K_{54} \vee K_{53} \vee K_{66}$ – для мигрени.

Соответствующие частные концепты приведены в Приложении.

56 продиагностированных пациента, не участвующих в формировании базы знаний, были продиагностированы посредством экспертной системы **HEADACHE**.

В 69% случаев диагноз, поставленный экспертной системой, однозначно совпал с врачебным диагнозом.

В 16% случаев, согласно решению экспертной системы, состояние пациента было оценено и как ГБН, и как мигрень, но степень уверенности диагноза, совпадающего с врачебным диагнозом, была существенно (на 15-30%) выше степени уверенности неправильного диагноза.

В 13% случаев, согласно решению экспертной системы, состояние пациента опять было отнесено к обоим типам заболевания. При этом степень уверенности диагноза, совпадающего с врачебным диагнозом, была лишь незначительно (<10%) выше степени уверенности неправильного диагноза.

В 2% случаев решение экспертной системы противоречило врачебному диагнозу.

Подытожив вышесказанное, можно утверждать, что решение экспертной системы совпадало с врачебным не менее чем в 85% случаев.

Этот результат показывает, что при формировании базы знаний на основе достаточно большого количества пациентов, представляющих достаточно широкий спектр возможных картин заболевания, предложенный концептуально-вероятностный метод обработки данных действительно предоставляет возможность автоматизации процесса извлечения экспертных знаний, а построенная на его основе экспертная система **HEADACHE** в значительной степени обеспечивает постановку правильных диагнозов.

Выводы по главе 4.

1. Головная боль – одна из самых распространенных жалоб, с которой приходится сталкиваться в повседневной практике врачам любой специальности. При этом головная боль может быть ведущей, а иногда и единственной жалобой более чем при 45 различных заболеваниях.
2. Несмотря на широкое распространение головных болей, правильная диагностика головной боли остается значительной проблемой, т.к. при этих расстройствах наличие конкретных патологических симптомов при общемедицинском и неврологическом обследовании скорее исключение, чем

правило. Каких-либо объективных методов измерения или оценки непосредственно головной боли практически не существует.

3. В таких условиях основная нагрузка в вопросах диагностики ложится на анамнез. Поэтому так важно создание стандартной формы – вопросника для сбора анамнеза, который должен включать в себя как факторы, имеющие первостепенное значение с точки зрения диагностики, характеризующиеся более высокой мерой объективности и являющиеся специфичными для того или иного типа головной боли, так и факторы, имеющие вспомогательное значение и служащие для уточнения диагноза головной боли при сопоставлении их с другими, диагностически более значимыми факторами.
4. Решение экспертной системы совпадало с врачебным не менее чем в 85% случаев. Этот результат показывает, что при формировании базы знаний на основе достаточно большого количества пациентов, представляющих достаточно широкий спектр возможных картин заболевания, предложенный концептуально-вероятностный метод обработки данных действительно предоставляет возможность автоматизации процесса извлечения экспертных знаний, а построенная на его основе экспертная система **HEADACHE** в значительной степени обеспечивает постановку правильных диагнозов.

5. Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Разработан алгоритм унификации факторов, позволяющий свести все разнообразие признаков к одному виду без потери информации;
2. Введены свойства существенности и дифференциации для признаков и диагностических правил, позволяющие отобразить предпочтения врача-эксперта на множестве симптомов и множестве диагностических правил;
3. Разработан концептуально-вероятностный метод обработки данных, позволяющий выявить трудноформализуемые интуитивные знания врача-эксперта и отобразить их в виде правил продукции.
4. Разработана модель экспертной диагностической системы и осуществлена ее программная реализация.

Литература

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы. Москва: Финансы и статистика, 2004, 422 с.
2. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. Москва: Вильямс, 2005, 864 с.
3. Казаков П.В., Шкаберин В.А. Основы искусственного интеллекта. Москва: БГТУ, 2007, 194 с.
4. http://www.ssti.ru/kpi/informatika/Content/biblio/b1/inform_man/gl_16_1.htm; უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 3.12.2007.
5. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. Под ред. Р. Форсайта. Москва: Радио и связь, 1987, 222 с.
6. Братко И. Программирование на языке ПРОЛОГ для искусственного интеллекта. Москва: Мир, 1990, 559 с.
7. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. Москва: Финансы и статистика, 1987, 190 с.
8. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. Москва: Мир, 1989, 388с.
9. Чавчанидзе В.В. Теория принятия концептуальных решений. Сообщения Института кибернетики АН ГССР. Тбилиси, 1973.
10. Чавчанидзе В.В. К проблеме распознавания образов и об универсальной природе концептуальной интеллектуальной активности. Материалы коллоквиума по "концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем". (Медицина, наука, техника), Батуми, 24-28 апреля, 1973.
11. Чавчанидзе В.В. Аналитические эвристики искусственного интеллекта при формировании понятий, опознании образов и классификации объектов. ВИНИТИ, № 2080-70 Деп.
12. Чавчанидзе В.В. Аналитики искусственного интеллекта и проблемы концептуального системного анализа. Материалы коллоквиума по "концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем". (Медицина, наука, техника), Батуми, 24-28 апреля, 1973.
13. Чавчанидзе В.В. Поведение управляющих естественных и искусственных систем с изоморфными понятийными структурами и моделями. ВИНИТИ, № 3950-72 Деп.
14. Чавчанидзе В.В. К общей теории концептуальных систем. Сообщения Института кибернетики АН ГССР. Тбилиси, 1973.
15. Chavchanidze V.V. Towards the General Theory of Conceptual Systems (a New Point of View). *J. Kybernetes*, 1974, 3, pp 17-25.
16. Чавчанидзе В.В. К построению ОТС как общей теории концептуальных систем и управления (ОТКСУ). Сообщения АН ГССР, т.63, №1, 1971.

17. Заде Л. Понятие о лингвистической переменной и его применение к принятию решений. Москва: Мир, 1976, 206 с.
18. Продеус А.Н., Захрабова Е.Н. Экспертные системы в медицине. Киев: Век+, 1998, 326 с.
19. Котов Ю.Б. Новые математические подходы к задачам медицинской диагностики. Москва: Едиториал УРСС, 2004, 328 с.
20. Кобринский Б.А. Извлечение экспертных знаний: групповой вариант. *Новости искусственного интеллекта*, 2004, 3, с.58-66.
21. Кобринский Б.А. Управляемая дискуссия при групповом варианте извлечения знаний. Научная сессия МИФИ-2006: Сб. науч. тр. Т.3. Москва: 2006, с.19-21.
22. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. Москва: Вильямс, 2006, 1152 с.
23. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003, 606 с.
24. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер, 2000, 382 с.
25. Попов Э.В. Экспертные системы. Москва: Наука, 1987, 284 с.
26. Золотов С.И. Интеллектуальные информационные системы. Воронеж: Научная книга, 2007, 140 с.
27. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. Москва: Энергоатомиздат, 1991, 135 с.
28. Grover M.D. A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology. The Eight International Joint Conference on Artificial Intelligence. Karlsruhe, 1983, pp 436-438.
29. Buchanan B.G., Barstow D, Bechtal R., Bennett J., Clancey W., Kulikowski C., Mitchell T., Waterman D.A. Constructing an Expert System. Building Expert Systems. London: Addison-Wesley, 1983, pp 127-168.
30. Fujihara H., Simmons D.B., Ellis N.C., Shannon R.E. Knowledge Conceptualization Tool. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1997, 9, 2, pp 209-219.
31. http://donntu.edu.ua/russian/strukt/facult/fsp/books/atanov/Study_AI/03.pdf; უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 3.12.2007.
32. Кобринский Б.А. Возможность вскрытия интуитивных представлений врачей при групповом извлечении знаний. Десятая нац. конф. по искусств. интеллекту с междунар. уч. КИИ-2006 (25-28 сент.2006 г., Обнинск): Тр. конф. Т.2. Москва: Физматлит, 2006, с. 653-659.
33. Чавчанидзе В.В. Проблемы принятия решений, формирования понятий и эвристической структуризации больших систем. ВИНИТИ, №3949-72 Деп.
34. Чавчанидзе В.В. Аналитическое решение задачи формирования понятий и распознавания образов. Сообщения АН ГССР, т.63, №1, 1971.

35. Чавчанидзе В.В., Корнеева А.В. Аналитический фильтрационный метод формирования понятий. Сообщения АН ГССР, т.65, №3, 1972.
36. Чавчанидзе В.В. К началам теории принятия концептуальных решений в системе искусственного интеллекта. Сообщения АН ГССР, т.70, №2, 1973.
37. Микеладзе М. Концептуально-вероятностный метод обработки данных в диагностике состояний многофакторной системы. Сборник докладов Международной научной конференции "Проблемы управления и энергетики" - РСРЕ-2004, Тбилиси: 2004, с.384-388.
38. მიქელაძე მ. ინფორმაციული სისტემის მონაცემთა ბაზაში ფაქტორების უნიფიკაციის ალგორითმი. ჟ. "მეცნიერება და ტექნოლოგიები", 2001, 10-12, გვ. 11-14.
39. Микеладзе М., Хачидзе М., Чавчанидзе В. Иерархия нечеткостей в задачах медицинской диагностики. Сборник трудов Института систем управления им. А. И. Элиашвили АН Грузии, Тбилиси: 2000, с. 160-171.
40. Микеладзе М.Г. Об одном методе выявления предпочтений эксперта на множестве диагностических критериев. *J. Georgian Engineering News*. 2008, 3, с.141-143.
41. ჭავჭავაძე ვ., მიქელაძე მ. ექსპერტ-მედიკოსის ობიექტურ-სუბიექტური ცოდნის ამოკრეფა დაავადების შესახებ, კლინიკურ მონაცემთა ალბათურ-კონცეპტუალური დამუშავების საშუალებით. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, ა. ელიაშვილის სახ. მართვის სისტემების ინსტიტუტი, შრომათა კრებული, თბილისი: 1998, გვ. 208-210.
42. Микеладзе М., Хачидзе М. Модифицированный концептуально-вероятностный метод формирования правил для медицинских экспертных систем. Труды XIV международного симпозиума "Управление большими системами" – CONTROL'2000. Тбилиси: 2000, с. 162-163.
43. Чавчанидзе В.В. Метод случайных испытаний (Метод Монте-Карло) Труды Ин-та Физики АН ГССР. 1955, 3.
44. В. В. Чавчанидзе. Изв. АН СССР, сер. физ.. 1955, 19, 6.
45. Юдельсон Я.Б., Страчунская Е.Я., Рачин А.П. Головная боль (клиника, диагностика, лечение). *И.-Ж. Головная боль*. 2000, 1(I).
46. Юдельсон Я.Б., Рачин А.П. История головной боли. *И.-Ж. Головная боль*. 2000, 1(I).
47. Страчунская Е.Я. Головная боль – актуальная проблема современной медицины. *И.-Ж. Головная боль*. 2004, 8.
48. Даймонд С. Головные боли. Москва: Восточная Книжная Компания, 1997, 160 с.
49. Classification and Diagnostic Criteria for Headache Disorders, Cranial Neuralgia and Facial Pain. Headache Classification Committee of the International Headache Society. *J. Cefalalgia*. 1988, 8 (7), pp.1-96.
50. Головная боль: диагностический алгоритм. *Ж. Consilium medicum (неврология и ревматология)*. 1999, 1, 2, с. 499-502.

51. Юдельсон Я.Б., Страчунская Е.Я., Рачин А.П. Мигрень – патогенез, клиника, лечение, фармакоэкономика. *И.-Ж. Головная боль*. 2001, 1(2).
52. Страчунская Е.Я. Головная боль напряжения (анализ и терапия). *И.-Ж. Головная боль*. 2000, 1(1).
53. Неврология. под ред. М. Самуэльса. Москва: Практика, 1997, 396 с.
54. Страчунская Е.Я. Клиника головной боли напряжения. *И.-Ж. Головная боль*. 2002, 4.
55. Юдельсон Я.Б., Рачин А.П. Эпидемиология головной боли напряжения. *И.-Ж. Головная боль*. 2002, 4.

Приложение.

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
208.ГБ длится не более нескольких дней 234.ГБ длится не менее 45 минут	19.Причина ГБ - Травма головы 24.Причина ГБ - Начало менструации 43.Приступы ГБ раз в месяц 47.Приступы ГБ несколько раз в неделю 50.Приступы ГБ несколько раз в день 64.ГБ начались в детстве 65.ГБ начались в подростковом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 91.ГБ сопровождается одеревенелостью шеи 92.ГБ сопровождается скотомой 97.ГБ сопровождается опущением века 170.Катастрофический стресс несколько раз 171.Катастрофический стресс много раз 179.Аналогичные ГБ отмечались у отца 181.Аналогичные ГБ отмечались у других кровных 191.ГБ то односторонняя, то двусторонняя 212.ГБ длится не более 45 минут 247.ГБ длится не менее 5 дней

Номер концепта: 10 ◀ ▶

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9705882

П 1. Частный концепт K_{10} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
192.ГБ всегда двусторонняя 208.ГБ длится не более нескольких дней 234.ГБ длится не менее 45 минут	10.Возраст - подросток 24.Причина ГБ - Начало менструации 25.Причина ГБ - Беременность 62.ГБ начинается в определенных числах месяца 65.ГБ начались в подростковом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 83.ГБ сопровождается рвотой 92.ГБ сопровождается скотомой 123.ГБ провоцирует кофе 124.ГБ провоцирует молоко 127.ГБ провоцируют орехи 178.Аналогичные ГБ отмечались у матери 179.Аналогичные ГБ отмечались у отца 212.ГБ длится не более 45 минут 247.ГБ длится не менее 5 дней

Номер концепта: 9 ◀ ▶

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9411765

П 2. Частный концепт K_9 .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
192.ГБ всегда двусторонняя 208.ГБ длится не более нескольких дней	10.Возраст - подросток 24.Причина ГБ - Начало менструации 60.ГБ учащается осенью 65.ГБ начались в подростковом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 94.ГБ сопровождается заложенностью носа на сто 151.Резкие колебания настроения в «светлый» по 179.Аналогичные ГБ отмечались у отца 181.Аналогичные ГБ отмечались у других кровных

Номер концепта: 36

◀

▶

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9411765

П 4. Частный концепт K_{36} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
4.Пол - женский 155.Был перенесен стресс 221.ГБ длится не более 1 дня	19.Причина ГБ - Травма головы 25.Причина ГБ - Беременность 62.ГБ начинается в определенных числах месяца 64.ГБ начались в детстве 70.ГБ начались в старческом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 83.ГБ сопровождается рвотой 92.ГБ сопровождается скотомой 99.ГБ сопровождается покраснением лица 107.ГБ провоцируется неприятным запахом 113.ГБ провоцируется курением или запахом таб 123.ГБ провоцирует кофе 124.ГБ провоцирует молоко 126.ГБ провоцирует алкоголь 177.Аналогичные ГБ отмечались в семье 230.ГБ длится не менее нескольких дней

Номер концепта: 20

◀

▶

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9117647

П 3. Частный концепт K_{20} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
192.ГБ всегда двусторонняя 208.ГБ длится не более нескольких дней 234.ГБ длится не менее 45 минут	24.Причина ГБ - Начало менструации 61.ГБ учащается зимой 64.ГБ начались в детстве 65.ГБ начались в подростковом возрасте 70.ГБ начались в старческом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 78.Перед ГБ частая зевота 91.ГБ сопровождается одеревенелостью шеи 97.ГБ сопровождается опущением века 179.Аналогичные ГБ отмечались у отца 181.Аналогичные ГБ отмечались у других кровных 197.ГБ локализована в области половины головы 203.ГБ локализована в области глаза 204.ГБ локализована в области шеи 212.ГБ длится не более 45 минут 247.ГБ длится не менее 5 дней

Номер концепта: 30

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9117647

П 5. Частный концепт K_{30} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
192.ГБ всегда двусторонняя 208.ГБ длится не более нескольких дней	10.Возраст - подросток 24.Причина ГБ - Начало менструации 25.Причина ГБ - Беременность 65.ГБ начались в подростковом возрасте 76.Перед ГБ непреодолимое желание принятия ка 83.ГБ сопровождается рвотой 123.ГБ провоцирует кофе 124.ГБ провоцирует молоко 127.ГБ провоцируют орехи 179.Аналогичные ГБ отмечались у отца 181.Аналогичные ГБ отмечались у других кровных 203.ГБ локализована в области глаза 204.ГБ локализована в области шеи 247.ГБ длится не менее 5 дней

Номер концепта: 40

Диагноз: ГБН

Степень уверенности: 0.9117647

П 6. Частный концепт K_{40} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
28.Пульсирующая ГБ 155.Был перенесен стресс 172.Наличие взаимоотношений 231.ГБ длится не менее 1 минуты	14.Возраст - пожилой 21.Причина ГБ - Артериальная гипертензия 25.Причина ГБ - Беременность 40.Приступы ГБ раз в год 41.Приступы ГБ несколько раз в год 42.Приступы ГБ много раз в течение года 45.Приступы ГБ много раз в течение месяца 51.Приступы ГБ много раз в течение дня 52.Серия частых приступов сменяется светлым 53.Приступы ГБ почти каждый день 75.Перед ГБ блестящие точки перед глазами 77.Перед ГБ онемение конечностей 92.ГБ сопровождается скотомой 95.ГБ сопровождается насморком 99.ГБ сопровождается покраснением лица 105.ГБ провоцируется прикосновением к лицу 109.ГБ провоцируется кашлем 112.ГБ провоцируется определенными лекарст 125.ГБ провоцирует сыр 129.Другая причина провоцирует ГБ 147.Нормальное поведение в «светлый» период 152.Нормальное поведение в период приступа 159.Легкий стресс много раз

Номер концепта: **70** ◀ ▶

Диагноз: **Мигрень** Степень уверенности: **1**

П 8. Частный концепт K_{70} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
153.Пациент пытается быть спокойным во время п 221.ГБ длится не более 1 дня 228.ГБ длится не менее нескольких минут	11.Возраст - юноша 21.Причина ГБ - Артериальная гипертензия 40.Приступы ГБ раз в год 41.Приступы ГБ несколько раз в год 42.Приступы ГБ много раз в течение года 45.Приступы ГБ много раз в течение месяца 49.Приступы ГБ раз в день 52.Серия частых приступов сменяется светлым 53.Приступы ГБ почти каждый день 69.ГБ начались в пожилом возрасте 74.Перед ГБ расстройство желудочно-кишечног 77.Перед ГБ онемение конечностей 95.ГБ сопровождается насморком 105.ГБ провоцируется прикосновением к лицу 109.ГБ провоцируется кашлем 112.ГБ провоцируется определенными лекарст 117.Другая причина усиливает ГБ 122.ГБ провоцирует шоколад 124.ГБ провоцирует молоко 125.ГБ провоцирует сыр 127.ГБ провоцируют орехи 129.Другая причина провоцирует ГБ 149.Пациент несдержан в «светлый» период

Номер концепта: **78** ◀ ▶

Диагноз: **Мигрень** Степень уверенности: **0.9782609**

П 7. Частный концепт K_{78} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
155. Был перенесен стресс	20. Причина ГБ - Инфекция 21. Причина ГБ - Артериальная гипертензия 25. Причина ГБ - Беременность 31. Слабая ГБ 40. Приступы ГБ раз в год 41. Приступы ГБ несколько раз в год 43. Приступы ГБ раз в месяц 49. Приступы ГБ раз в день 50. Приступы ГБ несколько раз в день 52. Серия частых приступов сменяется светлым пе 53. Приступы ГБ почти каждый день 74. Перед ГБ расстройство желудочно-кишечного 77. Перед ГБ онемение конечностей 79. Перед ГБ быстрая утомляемость 95. ГБ сопровождается насморком 99. ГБ сопровождается покраснением лица 105. ГБ провоцируется прикосновением к лицу 109. ГБ провоцируется кашлем 125. ГБ провоцирует сыр 129. Другая причина провоцирует ГБ 194. ГБ всегда на одной и той же стороне 209. ГБ длится не более 1 минуты

Номер концепта: **54** ◀ ▶

Диагноз: **Мигрень**

Степень уверенности: **0.9565217**

П 9. Частный концепт K_{54} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
82. ГБ сопровождается тошнотой 231. ГБ длится не менее 1 минуты	11. Возраст - юноша 21. Причина ГБ - Артериальная гипертензия 25. Причина ГБ - Беременность 31. Слабая ГБ 41. Приступы ГБ несколько раз в год 42. Приступы ГБ много раз в течение года 49. Приступы ГБ раз в день 52. Серия частых приступов сменяется светлым пе 53. Приступы ГБ почти каждый день 74. Перед ГБ расстройство желудочно-кишечного 75. Перед ГБ блестящие точки перед глазами 77. Перед ГБ онемение конечностей 95. ГБ сопровождается насморком 105. ГБ провоцируется прикосновением к лицу 109. ГБ провоцируется кашлем 112. ГБ провоцируется определенными лекарствами 129. Другая причина провоцирует ГБ 157. Легкий стресс один раз 159. Легкий стресс много раз

Номер концепта: **53** ◀ ▶

Диагноз: **Мигрень**

Степень уверенности: **0.9130435**

П 10. Частный концепт K_{53} .

Формирование концептов диагностики головной боли

СПИСОК СФОРМИРОВАННЫХ КОНЦЕПТОВ

Симптомы, которые должны присутствовать	Симптомы, которые должны отсутствовать
82.ГБ сопровождается тошнотой 228.ГБ длится не менее нескольких минут	11.Возраст - юноша 21.Причина ГБ - Артериальная гипертензия 25.Причина ГБ - Беременность 40.Приступы ГБ раз в год 41.Приступы ГБ несколько раз в год 42.Приступы ГБ много раз в течение года 45.Приступы ГБ много раз в течение месяца 49.Приступы ГБ раз в день 51.Приступы ГБ много раз в течение дня 52.Серия частых приступов сменяется светлым п 53.Приступы ГБ почти каждый день 75.Перед ГБ блестящие точки перед глазами 77.Перед ГБ онемение конечностей 92.ГБ сопровождается скотомой 95.ГБ сопровождается насморком 105.ГБ провоцируется прикосновением к лицу 109.ГБ провоцируется кашлем 112.ГБ провоцируется определенными лекарства 129.Другая причина провоцирует ГБ 157.Легкий стресс один раз 159.Легкий стресс много раз

Номер концепта: **66** ◀ ▶

Диагноз: **Мигрень**

Степень уверенности: **0.9130435**

П 11. Частный концепт K_{66} .