

O. X. Chalbash

SYSTEM FOR DEVELOPING RECOMMENDATIONS FOR THE SAFETY OF ENERGY FACILITIES

*Ph. D. in Economics, Institute of Power Engineering,
Kishinev, Republic of Moldova*

Annotation. The aim of the work is to develop a conceptual model for automating the execution of expert procedures in the field of security. The structuring of the selected factors and cause-and-effect relationships between them is carried out by means of a stochastic loaded graph. The information system involves the development of a database. As a result, it is enough for an expert to identify catalysts specific to a given object and indicate the rank characteristics of the influencing factors in order for the system to form a set of measures that mitigate emerging potential threats.

Keywords: expert decision support systems, security systems, expert decision automation, loaded graphs, risk profile.

Введение. Выработка экспертных решений (или экспертных рекомендаций) в той или иной предметной области всегда основывается на анализе и систематизации первичной информации. При этом первичная информация должна наиболее полно описывать (в интересующем контексте) условия функционирования выбранного объекта предметной области. В качестве субъекта рекомендаций, в зависимости от специфики предметной области, могут выступать различные мероприятия, процедуры или вербальные рекомендации, способствующие эффективному и стабильному функционированию данного объекта.

Во всех случаях рекомендации экспертов направлены на коррекцию жизнедеятельности объектов с точки зрения обеспечения их стабильной и штатной работы. И выработка экспертных рекомендаций основывается на изучении первичной информации о реальных условиях жизнедеятельности объекта.

Таким образом, общая схема разработки экспертного решения (рекомендаций) носит универсальный характер (рис. 1). Специфические особенности обуславливаются структурой связей и отношений между данными, содержащимися в исходных источниках информации, и набором субъектов экспертизы, с одной стороны, и формальными методами анализа – с другой.



Рис. 1. Общая схема выработки экспертного решения

Материалы и методы исследования. Для того чтобы установить указанную структуру связей и отношений необходимо сформулировать концептуальную модель.

Центральная идея, лежащая в основе концептуальной модели экспертных систем для управления безопасностью различного рода сложных объектов, состоит в установлении корреляционных связей между условиями их жизнедеятельности и рисками возникновения нештатных деструктивных ситуаций. С другой стороны, такая модель предполагает разработку комплекса мер, способных в превентивном режиме смягчать или устранять возможные последствия опасных ситуаций.

Любой объект предметной области (человек, растения, энергетическая система или др.) функционируют в определенных специфических условиях. Данные условия могут быть выражены целым рядом факторов, причем многие из них способны оказывать негативное влияние на состояние объекта. Например, люди, работающие в горячих цехах, подвержены легочным заболеваниям в большей мере, чем работающие в иных условиях. Самолеты, взлетающие и приземляющиеся в аэропортах с неразвитой авиационной инфраструктурой, чаще подвержены авариям или иным нештатным ситуациям. Энергетические системы, обслуживаемые плохо обученным персоналом, более подвержены возникновению деструктивных ситуаций. Перечисление можно продолжить.

Факторы, определяющие специфические условия функционирования объектов, условно можно назвать катализаторами, поскольку они способны порождать угрозы (опасности) для нормального режима их жизнедеятельности. Описание таких факторов сосредоточено в различных источниках информации: журналах нештатных ситуаций, анамнезах, задокументированных мониторингах событий и другие документах (первичная информация).

Для выделения указанных факторов могут использоваться текстовые анализаторы, позволяющие определять вхождения ключевых слов в текст документа.

Субъекты экспертных решений (рекомендаций) при таком подходе можно квалифицировать как набор факторов, призванных смягчать и/или устранять указанные угрозы. При этом в качестве таких факторов могут выступать различные мероприятия, процедуры, инструкции и вербальные рекомендации.

Далее формулируется гипотеза, согласно которой условия функционирования (катализаторы) могут порождать всевозможные угрозы или опасности, а различные факторы группы субъектов решений способны смягчать или устранять возникающие угрозы.

Таким образом, между факторами выделенных групп формируется система причинно-следственных связей, которые в общем случае носят ассоциативный характер (многие ко многим).

На рис. 2 показана упрощенная принципиальная схема такой модели.

Но подобная концептуальная модель не может считаться завершенной по ряду причин, главная из которых – очевидный детерминизм такой модели. Получаемые варианты решения будут определяться исключительно выбором

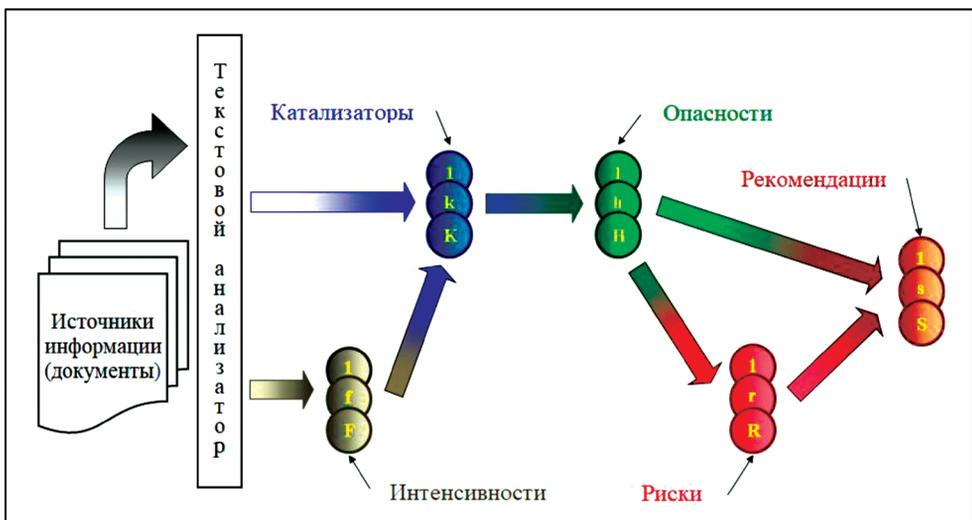


Рис. 2. Схема связей между различными факторами концептуальной модели

экспертом (ЛПР) того или иного подмножества катализаторов. Математически, число таких рекомбинаций решений определяется из выражения:

$$M = C_N^K = \frac{N!}{K!(N-K)!}, \quad (1)$$

где N – предельное число факторов группы «катализаторы»; K – фактическое число факторов, выбранных экспертом.

И хотя число таких рекомбинаций в практике может быть достаточно большим, тем не менее априорная предсказуемость такой модели имеет принципиальный характер.

Для того чтобы существенно увеличить вариабельность такой модели, а также учитывать интенсивность проявления катализаторов (их опосредованное влияние на профиль риска) вводится ряд дополнительных положений.

Положение 1. Вводится фактор интенсивности проявления катализаторов (фактор интенсивности влияния). Факторам влияния приданы градационные характеристики, отображающие меру интенсивности их воздействия на порождающий потенциал катализаторов, а также на характеристики профиля рисков.

Поясним на примерах. Факторы группы «катализаторы» могут проявляться с различной интенсивностью. Например, самолеты могут приземляться в аэропортах с неразвитой инфраструктурой один раз в месяц или ежедневно. Люди могут работать на вредных производствах постоянно или эпизодически и т. д. Поэтому способность порождать различные угрозы у отдельных факторов группы «катализаторы» будет различной.

Положение 2. На основе градационных оценок факторов интенсивности, катализаторам присваиваются количественные оценки их способности породить опасности.

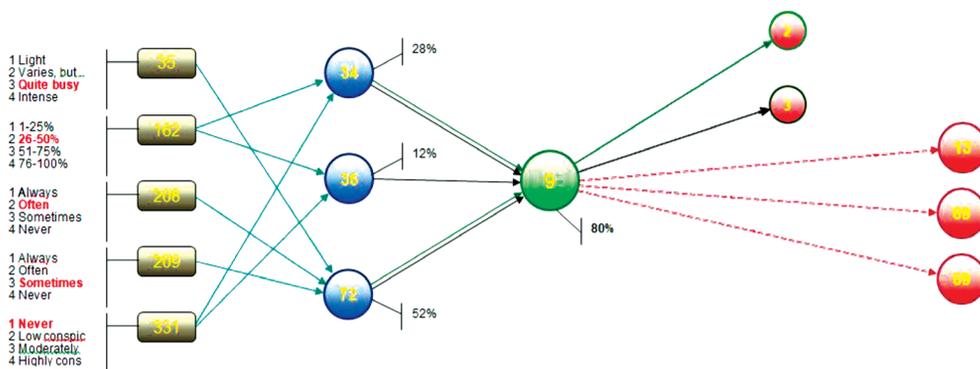


Рис. 3. Схема порождения угроз с пороговыми оценками

Порождающий потенциал катализаторов определяется весовыми оценками, заданными в вероятностных терминах. В вероятностных терминах заданы и пороговые оценки опасностей. В частности, из представленной на рис. 3 схемы видно, что совокупный потенциал катализаторов № 34, № 36 и № 72 достаточен для возникновения опасности № 9 ($28+12+52>80\%$).

Факторов интенсивности влияния, связанных с тем или иным катализатором, может быть более одного. А один и тот же фактор интенсивности может характеризовать интенсивность проявления более чем одного катализатора. Таким образом, между отдельными факторами групп «интенсивность» и «катализаторы» также формируются ассоциативные связи.

Введение еще одного положения способно обеспечить более «тонкий» учет условий функционирования объекта.

Положение 3. Учитывается влияние факторов интенсивности на профиль риска (в координатах «вероятность» – «тяжесть последствий»). Мера влияния устанавливается в зависимости от состава и ранга имеющихся (у катализаторов) факторов интенсивности влияния. Причем данное влияние оценивается дифференциально по цепочкам «катализатор – угроза – риск».

Для определения меры влияния факторов интенсивности на профиль риска была разработана специальная методика.

Согласно принятой концепции, статус риска (позиция на диаграмме профилей рисков (рис. 4)) определяется на основе его характеристик: обобщенной вероятности и обобщенной тяжести последствий (в соответствии с принятыми градациями (см. таблицу)). И далее, на основе статусов рисков, устанавливаются частотности применения отдельных факторов «субъекты экспертных решений». Позиционирование рисков осуществляется в пределах трех или более выделенных зон (согласно принятой частотности применения отдельных факторов группы «субъекты экспертизы»).

Методика определения меры воздействия катализаторов на профили рисков в зависимости от расчетных значений параметров группы интенсивности влияния приведена в работе [15].

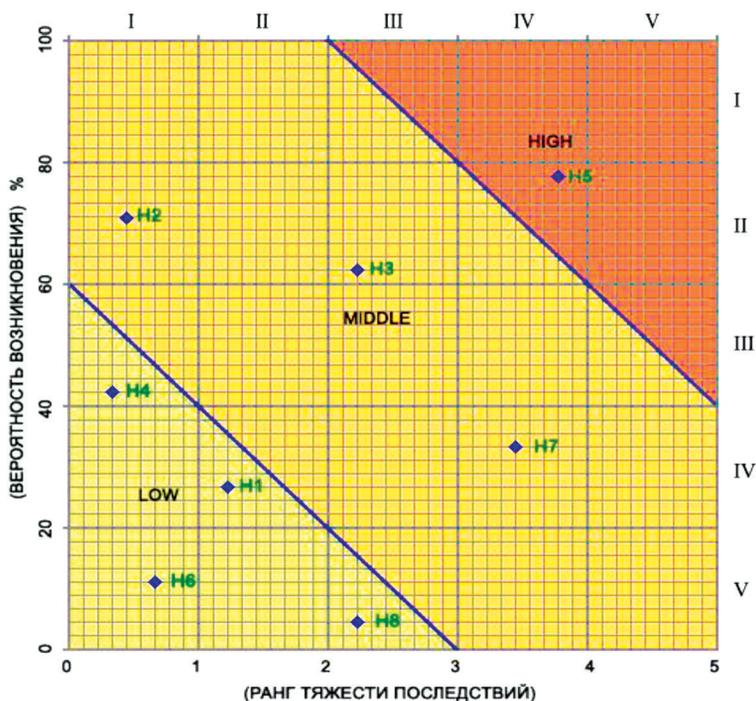


Рис. 4. Профили рисков

Шкалы градаций профиля рисков

Наименование градации вероятности события	Ранг	Наименование градации тяжести последствия события	Ранг
Rarely (очень редко)	I	Negligible (пренебрежимые)	I
Unlikely (маловероятно)	II	Minor (незначительные)	II
Possibly (возможно иногда)	III	Medium (средние)	III
Likely (вполне вероятно)	IV	Major (крупные)	IV
Almost always (почти всегда)	V	Catastrophic (катастрофические)	V

Таким образом, можно сформулировать основные процедуры построения концептуальной модели:

формируется фиксированное множество компонентов фактора «субъекты экспертных рекомендаций» и их частотные характеристики;

экспертные рекомендации всегда представляют собой некоторую конфигурацию компонентов данного множества (т. е. подмножество) с указанием их частотных характеристик;

формируется фиксированное множество компонентов фактора «риски сопряженные с функционированием объекта» и их характеристики;

формируется фиксированное множество компонентов фактора «специфические условия функционирования объекта» (катализаторы);

между компонентами указанных факторов устанавливаются «порождающие» связи, имеющие ассоциативный характер;

устанавливаются правила перехода (порождения) от компонентов одной группы к компонентам последующей;

наборы компонентов всех выделенных групп факторов, их характеристики и правила перехода хранятся в базе данных информационной системы и при необходимости могут быть отредактированы;

формируется стратегия проведения вариантных расчетов.

Все структурно-семантические и количественные характеристики графа (компоненты групп факторов, связи между ними, пороговые значения порождающих связей, ранговые градации отдельных факторов и ряд других параметров) содержатся в базе данных. Это позволяет осуществить частичную автоматизацию экспертных процедур, иначе – разработать взаимосвязанную систему «поточных алгоритмов» последовательной обработки данных вплоть до формирования набора экспертных рекомендаций. Однако в полной мере механизм работы признать «поточным» нельзя. Автоматизируются лишь определенные операции, и эксперту предоставляется возможность вносить коррективы в работу отдельных блоков. Работа с экспертной системой в общем случае строится в диалоговом режиме.

При полностью сформированной информационной системе (база данных и блок программных приложений с необходимым интерфейсом) теоретически эксперту достаточно указать подмножество катализаторов, характерных для данного объекта, а также ранговые градации связанных с катализаторами факторов влияния для того, чтобы получить решение – набор рекомендаций с указанием частотностей их применения. Но эксперту также предоставляется возможность внесения коррекций для настройки системы. Например, могут быть изменены пороговые значения порождающих связей, позиционирование зон профиля рисков и др.

Отдельно следует отметить процедуры формирования структуры графа на этапе проектирования информационной системы. Для выполнения указанных процедур необходимо привлекать экспертов для определения состава факторов отдельных групп, установления связей между факторами отдельных групп, придания им количественных характеристик и решения ряда других вопросов.

Данный этап проектирования информационной системы является наиболее ответственным и трудоемким и требует выработки обобщенных оценок мнений ряда экспертов по тому или иному вопросу. Для этого были использованы методы нечисловой статистики и разработано специализированное программное приложение, позволяющее получать медианальные решения (медиана по Кемени [6]) по отдельным вопросам формирования структурных компонентов системы.

Процедуры, выполняемые экспертной системой, условно можно разделить на два типа, по аналогии с понятиями «front-end» и «back-end», принятыми в WEB-проектировании. Первые выполняются экспертом-пользователем (ЛПР), а вторые представляют собой функциональные автоматизированные блоки программного комплекса системы. Причем конфигурация данных, поступающих на вход отдельных блоков, в значительной степени определяется действиями ЛПР.

Указанные процедуры неразрывно связаны между собой, представляют собой целостный архитектурный комплекс и определяются сценарием работы, подготовленным в рамках концептуальной модели системы.

Рассмотрим подробнее основные функциональные блоки системы и процедуры.

Сценарий обработки информации. На рис. 5 в самом общем виде представлена схема СПЭР, включающая основные функциональные блоки системы и потоки обрабатываемой информации.

На начальном этапе работы необходимо изучить специфические условия функционирования (жизнедеятельности) выбранного объекта и выделить наиболее существенные из них. Набор таких условий образует подмножество факторов группы «катализаторы». Если предельного множества катализаторов, содержащихся в базе данных недостаточно, эксперт-пользователь может ввести дополнительные факторы. Для этого в состав программного комплекса системы включен редактор базы данных, позволяющий модифицировать (добавлять, удалять или обновлять) любую информацию, содержащуюся в ней.

Кроме анализа условий функционирования объекта на начальном этапе необходимо выделить факторы интенсивности и отредактировать при необходимости,

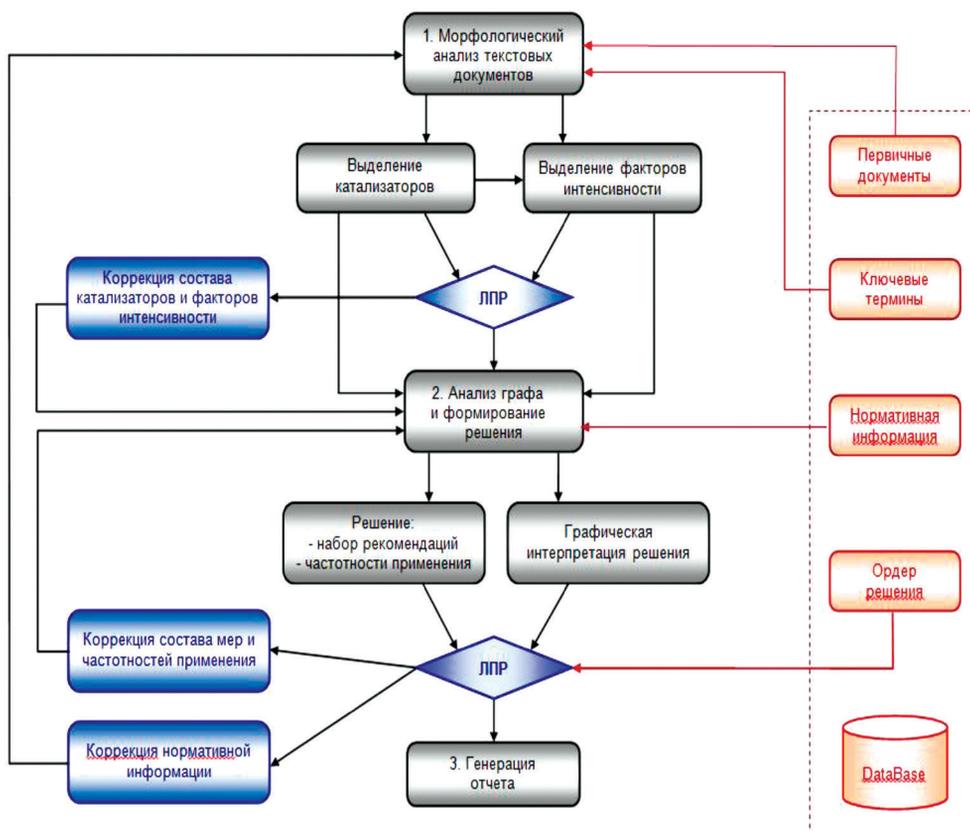


Рис. 5. Блок схема СПЭР. Сценарий работы в диалоговом режиме

их связи с катализаторами. При наличии в базе данных всей структурной и нормативной информации можно запустить систему в потоковом режиме и получить весь предусмотренный спектр промежуточных и результативных данных. Кроме того, результативные данные могут быть оформлены в виде структурированного отчета и распечатаны.

Выделение набора специфичных для данного объекта условий функционирования достаточно трудоемкая процедура. Поэтому система предполагает наличие в базе данных массива информации о различных аспектах «жизнедеятельности» выбранного объекта (по аналогии с анамнезом в медицине). В особенности это касается сведений о различных нештатных ситуациях.

Для облегчения выполнения процедур формирования специфических условий в системе предусмотрен морфологический текстовый анализатор. Его работа осуществляется посредством ключевых слов и морфологических словоформ, введенных в базу данных. Выделенные с помощью текстового анализатора наборы катализаторов, а также связи между ними и факторами интенсивности могут быть скорректированы экспертом перед запуском системы.

Опишем более подробно процедуры, выполняемые при работе эксперта с системой.

Установление подмножества компонентов группы «условия эксплуатации» представляет собой весьма нетривиальную проблему. Сложность состоит в том, что источником для анализа служит содержащаяся в первичных документах текстовая информация, в которой интересующие нас данные представлены в несистематизированном и «хаотичном» виде. Проблему представляет также их лексическая и морфологическая неадекватность поисковым запросам.

Такого рода анализ текстовой информации может быть ассоциирован с поисковыми системами. Хотя принципы работы классических поисковых систем не вполне соответствуют данной задаче. Проблема состоит в том, что в целом не гарантирована семантическая релевантность содержащихся в тексте терминов, указывающих на условия функционирования объекта, ограниченному множеству терминов, обозначающих компоненты группы «условия эксплуатации», т. е. лексические способы отображения в тексте специфических условий функционирования (эксплуатации) объекта нерелевантными значениям этих компонентов, хранимых в базе данных.

Таким образом, выполнение всех вышеуказанных процедур выделяется в самостоятельный модуль, указанный на рис. 2 как «текстовый анализатор».

После окончания работы системы эксперту предлагается решение.

Все процедуры обработки потоков данных в рамках сформированного графа выполняются автоматически. В частности, на основе анализа статусов рисков выделенных опасностей и существующих связей между опасностями и мерами безопасности (основные субъекты рекомендаций) система формирует набор рекомендованных мер с указанием частотности их применения.

Набор мер обеспечения безопасности представляет собой группу факторов «субъекты рекомендаций». Причем, как отмечалось выше (см. структуру факторов системы), в данную группу включены как меры, предусмотренные

национальными и международными стандартами, так и дополнительные меры, введенные экспертами на стадии проектирования системы. Система не игнорирует предусмотренные стандартные меры, но при необходимости меняет частотность их применения.

Помимо набора рекомендованных мер безопасности система предоставляет визуальную информацию о наборах факторов и системе связей между ними, обусловившую выбор той или иной меры безопасности. Это позволяет эксперту-пользователю наглядно представлять характер причинно-следственных связей, инициировавших рекомендацию той или иной меры безопасности.

Как отмечалось выше, система предусматривает возможность изменения структурной и нормативной информации, сформированной на стадии ее проектирования. Реализация такой функции позволяет проводить настройку системы для специфических условий конкретного объекта. При этом информационно-логическая конфигурация базы данных спроектирована таким образом, чтобы структура информации, относящаяся к другим объектам, не изменялась.

Эксперту также предоставляется возможность менять частотности применения рекомендованных системой мер безопасности. После выполнения необходимых, по мнению эксперта-пользователя, изменений исходной и/или промежуточной информации цикл вычислений в автоматизированном режиме может быть повторен. Полученные результаты автоматически формируются в виде отчетного документа. Структура отчета устанавливается на стадии проектирования системы и не может быть изменена в пользовательском режиме. Для образования структурных разделов отчета в базе данных предусмотрены специальные объекты, именуемые «ордерами решения». В такие ордера система вносит информацию по всем группам факторов и связям между ними, а также нормативные показатели, образующие результаты решения.

В ордере решения помимо рекомендованных мер могут фигурировать и другие мероприятия (тренинги, учебные материалы и др.). Их состав определяется обязательными для данного объекта мерами безопасности, предписанными различного рода стандартами – региональными или международными.

Заключение. На основе предложенной модели был разработан комплекс программных приложений. В качестве математической модели использован стохастический нагруженный граф. Результаты решения были апробированы для различного рода сложных технических объектов. В частности, для разработки рекомендаций в области безопасности полетов, осуществляемой компанией TrainingPortNet (Канада). В настоящий момент ведется разработка системы обеспечения безопасности для объектов энергетически.

Список использованных источников

1. Андрейчиков, А. В. Интеллектуальные информационные системы / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
2. Боровиков, В. П. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows : учеб. пособие / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
3. Горбань, А. Н. Методы нейроинформатики / А. Н. Горбань. – Красноярск, 1998. – 205 с.

4. Нейроинформатика : учеб. пособие / А. Н. Горбань [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1998. – 296 с.
5. Дюк, В. А. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях / В. А. Дюк, В. Л. Эмануэль. – СПб. : Питер, 2003. – 528 с.
6. Кемени, Дж. Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М. : Сов. радио, 1972. – 192 с.
7. Кендэл, М. Ранговые корреляции / М. Кендэл. – М. : Статистика, 1975. – 216 с.
8. Литвак, Б. Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. – М. : Радио и связь, 1982. – 368 с.
9. Орлов, А. И. Основы теории принятия решений: учеб. пособие / А. И. Орлов. – М. : Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана, 2002.
10. Орлов, А. И. Нечисловая статистика. Серия статистические методы / А. И. Орлов. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 513 с.
11. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации (пер. с польск.) / С. Осовский. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
12. Павлов, А. Н. Методы обработки экспертной информации : учеб.-метод. пособие / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов. – СПб. : ГУАП, 2005. – 34 с.
13. Раушенбах, Г. В. Меры близости и сходства / Г. В. Раушенбах // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. – М. : Наука, 1985. – С. 169–203.
14. Хемминг, Р. В. Численные методы для научных работников и инженеров (пер. с англ.) / Р. В. Хемминг. – М. : Наука, 1972. – 400 с.
15. Чалбаш, О. Х. Система поддержки экспертных решений / О. Х. Чалбаш // Energy Security and Controlled Power Transmissions / сост. Е. В. Быкова, В. П. Берзан. – Кишинев, 2021. – С. 54–63.

References

1. Andrejchikov, A. V. Intelktual'nye informacionnye sistemy / A. V. Andrejchikov, O. N. Andrejchikova. – М. : Finansy i statistika, 2004. – 424 s.
2. Borovikov, V. P. Prognozirovanie v sisteme Statistica v srede Windows : ucheb. posobie / V. P. Borovikov, G. I. Ivchenko. – М. : Finansy i statistika, 2006. – 368 s.
3. Gorban', A. N. Metody nejroinformatiki / A. N. Gorban'. – Krasnoyarsk, 1998. – 205 s.
4. Nejroinformatika : ucheb. posobie / A. N. Gorban' [et al.]. – Novosibirsk : Nauka, 1998. – 296 s.
5. Dyuk, V. A. Informacionnye tekhnologii v mediko-biologicheskikh issledovaniyah / V. A. Dyuk, V. L. Emanuel'. – SPb. : Piter, 2003. – 528 s.
6. Kemeni, Dzh. Kiberneticheskoe modelirovanie: Nekotorye prilozheniya / Dzh. Kemeni, Dzh. Snell. – М.: Sov. radio, 1972. – 192 s.
7. Kendel, M. Rangovye korrelyacii / M. Kendel. – М. : Statistika, 1975. – 216 s.
8. Litvak, B. G. Ekspertnaya informaciya. Metody polucheniya i analiza / B. G. Litvak. – М. : Radio i svyaz', 1982. – 368 s.
9. Orlov, A. I. Osnovy teorii prinyatiya reshenij: ucheb. posobie / A. I. Orlov. – М. : Moskov. gos. tekhn. un-t im. N. E. Baumana, 2002.
10. Orlov, A. I. Nechislovaya statistika. Seriya statisticheskie metody / A. I. Orlov. – М. : MZ-Press, 2004. – 513 s.
11. Osovskij, S. Nejrornyne seti dlya obrabotki informacii (per. s pol'sk.) / S. Osovskij. – М. : Finansy i statistika, 2002. – 344 s.
12. Pavlov, A. N. Metody obrabotki ekspertnoj informacii : ucheb.-metod. posobie / A. N. Pavlov, B. V. Sokolov. – SPb. : GUAP, 2005. – 34 s.
13. Raushenbah, G. V. Mery blizosti i skhodstva / G. V. Raushenbah // Analiz nechislovoj informacii v sociologicheskikh issledovaniyah. – М. : Nauka, 1985. – S. 169–203.
14. Hemming, R. V. Chislennyye metody dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov (per. s angl.) / R. V. Hemming. – М. : Nauka, 1972. – 400 s.
15. Chalbash, O. H. Sistema podderzhki ekspertnyh reshenij / O. H. Chalbash // Energy Security and Controlled Power Transmissions / cost. E. V. Bykova, V. P. Berzan. – Kishinev, 2021. – S. 54–63.