

И.М. Тетерин, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус
**МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ**

Сформулированы принципы построения систем поддержки принятия решений (СППР) для управления пожарными подразделениями при тушении пожаров. Представлены методы решения задачи экспертной классификации на примере определения ранга пожара в жилых и административных зданиях

Ключевые слова: система, решение, управление, классификация, множество

I.M. Teterin, V.M. Klimovtsov, Yu.V. Prus
**METHODOLOGY OF WORKING OUT OF EXPERT SYSTEMS
FOR AN OPERATIONAL ADMINISTRATION FIRE DIVISIONS**

Principles of construction of systems of support of decision-making (CSSD) for management of fire divisions are formulated at extinguishing of fires. Methods of the decision of problem of expert classification on an example of definition of a rank of a fire in inhabited and office buildings

Key words: system, the decision, management, classification, set

1. Параметры, влияющие на установление ранга пожара

Как было отмечено в первом разделе, одним из наиболее важных аспектов при тушении пожаров является правильное определение ранга пожара, т. е. установление необходимых сил и средств для ликвидации горения. При определении необходимых сил и средств руководителем тушения пожара учитывается множество факторов, характеризующих складывающуюся обстановку на горящем объекте. Данные факторы для различных групп объектов имеют некоторые отличия.

Рассмотрим оперативно-тактическую характеристику административных и жилых зданий, так как в крупных городах именно на этих объектах происходит наибольшее число пожаров и гибели людей, и выявим факторы, влияющие на установление номера вызова пожарных подразделений. Эти факторы в дальнейшем мы будем использовать при построении системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара.

По существующей в настоящее время современной архитектурно-строительной классификации здания делятся по назначению на следующие основные категории: гражданские, промышленные и сельскохозяйственные.

К гражданским зданиям относятся здания, предназначенные для обслуживания бытовых, общественных и культурных потребностей человека. Эти здания разделяют на жилые (квартирного типа, общежития, гостини-

цы, мотели, пансионаты, туристические базы) и общественные (административные, учебные, детские учреждения, культурно-просветительные, торговые, коммунальные и другие) [71].

В зависимости от материала, из которого выполнены ограждающие конструкции, жилые и административные здания подразделяют на каменные, деревянные и железобетонные.

По виду и размеру строительных конструкций различают здания из мелких штучных элементов (кирпич, мелкие блоки), здания из крупноразмерных элементов (крупноблочные и крупнопанельные) и монолитные здания.

В зависимости от вида несущего остова различают две основные конструктивные схемы зданий: с несущими стенами и каркасную. В зданиях с несущими стенами нагрузку от перекрытий и крыши воспринимают стены: продольные, поперечные или одновременно те и другие. В каркасных зданиях вся нагрузка передается на каркас, т. е. на систему связанных между собой вертикальных элементов - колонн и горизонтальных - балок (прогонов или ригелей).

Административные и жилые здания также разделяют по степени огнестойкости. Степень огнестойкости - классификационная характеристика здания, определяемая показателями огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций, а огнестойкость конструкции в свою очередь является способностью конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара [91]. Степень огнестойкости жилых и административных зданий разделяют на первую, вторую, третью, четвертую и пятую [89, 90].

Приведем краткую характеристику зданий по степени огнестойкости.

К зданиям 1-й степени огнестойкости относятся сооружения с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов.

Ко 2-й степени огнестойкости относятся здания с такими же характеристиками, но в них применяют незащищенные стальные конструкции, т.е. без обработки их огнезащитными составами.

В зданиях 3-й степени огнестойкости несущие и ограждающие конструкции выполняют из цельной или клееной древесины и других горючих или трудногорючих материалов, защищенных от воздействия огня и высоких температур негорючими материалами. Элементы покрытий в зданиях сделаны из горючих и трудногорючих материалов и подвержены огнезащитной обработке. В зданиях данного типа с каркасной конструктивной схемой элементы каркаса выполняют из стальных незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции делают как из стальных профилиро-

ванных листов с трудногорючим утеплителем, так и из панелей с применением древесины или материалов на ее основе, при этом древесина и другие горючие материалы ограждающих конструкций подвергают огнезащитной обработке.

К 4-й степени огнестойкости относят здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, для перекрытий в которых используют деревянные конструкции, защищенные трудногорючими материалами. Конструктивные элементы чердачного покрытия из древесины в зданиях данного типа подвергают огнезащитной обработке. Здания 4-й степени огнестойкости с каркасной конструктивной схемой являются преимущественно одноэтажными. Элементы каркаса делают из стальных незащищенных конструкций, ограждающие конструкции из стальных профилированных листов или других негорючих материалов с горючим утеплителем.

Здания 5-й степени огнестойкости имеют несущие и ограждающие конструкции из горючих и трудногорючих материалов, перекрытия в них сделаны из горючих материалов и не имеют защиты от воздействия пламени и высоких температур.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что степень огнестойкости определяется горючими особенностями материалов, из которых выполнено здание. Таким образом, степень огнестойкости является одним из важнейших показателей, учитываемых РТП при определении необходимых сил и средств, так как преобладающее направление распространения огня, дыма и размеры очага горения при развитии пожара будут зависеть именно от степени огнестойкости.

Например, в одноэтажных зданиях 1-й, 2-й степени огнестойкости преобладающим направлением распространения огня будет горизонтальное направление по поверхности пожарной нагрузки.

При пожарах в многоэтажных зданиях 1-й, 2-й и 3-й степеней огнестойкости преобладающим направлением распространения огня можно также считать горизонтальное направление. В этих зданиях огонь может распространяться в выше – и нижерасположенные помещения по отношению к горящему только через различные отверстия в стенах и перекрытиях, по шахтам лестничных клеток и лифтов, по вентиляционным каналам.

Здания первой, второй, частично третьей степени огнестойкости являются наиболее защищенными от воздействия пожара, так как в качестве материала для несущих и ограждающих строительных конструкций здесь применяются негорючие материалы (железобетон, кирпич, сталь, стекло), которые способствуют ограничению

распространения пламени.

В зданиях 4-й степени огнестойкости огонь преимущественно также распространяется в горизонтальном направлении, но в вертикальном направлении опасность распространения огня здесь будет большей, нежели в зданиях 1-й, 2-й, 3-й степени огнестойкости.

При пожарах в зданиях 5-й степени огнестойкости преобладающим направлением распространения огня является вертикальное направление.

При прогнозировании развития пожара в зданиях 4-й и 5-й степени огнестойкости в целом учитывается, что основными путями распространения огня могут быть наружные и внутренние поверхности сгораемых конструкций (стены, перегородки, перекрытия, крыши); проемы и различные отверстия в конструктивных элементах; лестничные клетки [71].

Во всех проектируемых и строящихся административных и жилых зданиях предусматриваются мусоропроводы, электрические или газовые сети, системы отопления, вентиляции, лифты и другое инженерное оборудование.

Среди инженерного оборудования следует отметить пассажирские лифты. Пассажирские лифты устраивают в жилых и административных зданиях при отметке пола верхнего этажа над уровнем тротуара 14 метров и более [89].

Лифты, с одной стороны, могут быть использованы для подъема пожарных и подачи средств тушения на этажи. С другой стороны, лифтовые шахты могут служить путями распространения пламени по этажам, т.е. способствовать развитию пожара, а также являться основными путями распространения дыма при пожаре в здании.

Во многих жилых и административных зданиях устраивают подвалы, которые зачастую используются как подсобные помещения для размещения складов, мастерских и т. д. В связи с этим при пожаре в подвале можно встретиться с горением самых различных по своим свойствам и опасностям материалов, в том числе легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Данное обстоятельство также существенно влияет на определение необходимого количества сил и средств, а также выбор огнетушащего вещества РТП.

В современных зданиях все конструкции подвалов выполнены из негорючих материалов. Но в зданиях старой постройки встречаются еще сгораемые и трудносгораемые перекрытия, иногда с пустотами. Большинство подвальных помещений имеют мало проемов, как правило, один или два дверных и один или два оконных. Нередко окна защищены металлическими решетками, что затрудняет их использование при тушении пожара.

Планировка подвала может быть разнообразной и сложной. Большие по площади подвалы разделяются на отдельные секции, часто сообщаю-

щиеся между собой дверными проемами. Внутри секций устраиваются перегородки различной степени огнестойкости. Данные планировочные решения способствуют уменьшению скорости распространения пламени, и уменьшению площади очага пожара.

Подвальные помещения могут иметь сообщения с этажами и даже с чердаками через вентиляционные, мусоропроводные каналы, металлические трубы коммуникаций, шахты, люки. Системы вентиляции и другое инженерное коммуникационное оборудование оказывают существенное влияние на распространение горения в здании, они способствуют распространению пожара из горящего помещения в смежные. Данный фактор также существенно влияет на определение необходимого количества сил и средств.

Следует отметить то обстоятельство, что высота подвальных помещений не превышает 1,5 - 2 м, что в свою очередь затрудняет продвижение личного состава при тушении пожаров. Поэтому, как правило, при тушении пожаров в подвалах нередко складывается сложная обстановка.

Хотя развитие пожара в подвале имеет много общего с развитием пожаров на этажах, но имеются и определенные особенности. Вначале развитие пожара происходит, как и в этажах зданий, довольно интенсивно за счет достаточного количества воздуха, имеющегося в объеме помещений. В этот период дым и нагретый воздух скапливаются вверху, и поэтому проникновение к очагу пожара и его ликвидация не представляют особого труда. Однако, во всех случаях, в течение первых 10 - 30 минут начинает сказываться недостаток притока воздуха в зону горения, и развитие пожара в дальнейшем происходит более медленно, чем в этажах зданий. Интенсивное горение наблюдается на отдельных участках подвала, где имеется приток воздуха. В связи с этим, температурный режим в подвалах отличается от температурного режима при длительных пожарах в других помещениях.

Недостаточный приток свежего воздуха к зоне горения при пожарах в подвалах задерживает горение, способствует выделению в большом количестве вредных газов и дыма, которые проникают в вышележащие этажи и создают опасность для человека. Происходит плотное задымление лестничных клеток. Причем дым распространяется настолько быстро, что люди, находящиеся на втором и вышележащих этажах, не успевают покинуть свои квартиры, рабочие места и эвакуироваться из здания, поэтому в современных зданиях данного типа предусматривают устройство систем дымоудаления.

Данное инженерное оборудование способствует быстрой и самостоятельной эвакуации людей из горящего здания, что позволяет сократить количество сил и средств пожарной охраны, привлекаемых к тушению пожа-

ра и спасению людей.

Одним из основных факторов, влияющих на развитие пожара в жилых и административных зданиях, а следовательно, и на количество задействованных в процесс тушения сил и средств можно назвать пожарную нагрузку, т.е. количество теплоты, отнесенное к единице поверхности пола, которое может выделяться в помещении или здании при пожаре. На практике такую величину принято измерять отношением массы горючей нагрузки к площади пола, которая, согласно [70], в административных и жилых зданиях обычно достигает величины 50 кг/м^2 и более. В нее входят горючие строительные конструкции, облицовочные материалы, мебель, ковры, одежда и т. п.

Известно, что общим признаком любого пожара является неорганизованный процесс горения, который невозможен без наличия газообмена - притока свежего воздуха в зону горения с одновременным выходом продуктов сгорания из этой зоны. Условия газообмена при пожаре в здании отличны от тех, которые существуют при пожаре на открытом пространстве. На открытом пространстве газообмен зависит в основном от разности температур продуктов горения и атмосферного воздуха. При пожаре в здании газообмен зависит также и от архитектурно-строительной характеристики и объемно-планировочного решения здания в целом.

Пожарная обстановка в любом помещении здания характеризуется следующими основными среднеобъемными параметрами: плотностью газовой среды в объеме горящего помещения, давлением в горящем помещении, температурой, концентрацией компонентов газовой среды. Главными факторами, определяющими изменение этих параметров при развитии пожаров в помещениях зданий, являются:

- агрегатное состояние, величина пожарной нагрузки и ее распределение в помещении (сосредоточенная или равномерно распределенная);
- коэффициент условий газообмена - K_z .

Под коэффициентом условий газообмена K_z понимается отношение площади отверстий в ограждающих конструкциях помещения S_o к площади пола S_n [70]: $K_z = S_o / S_n$.

Таким образом, скорость роста размеров пожара сильно зависит от площади проемов в ограждающих конструкциях. Этот фактор также влияет на количество пожарных подразделений, необходимых для ликвидации данного пожара.

Рассмотрим также такой фактор оперативно-тактической характеристики административных и жилых зданий, как этажность. По этажности жилые и административные здания условно подразделяют на малоэтажные (высотой до 3-х этажей), многоэтажные (от 4-х до 9 этажей), здания повышенной этажности (от 10 до 25 этажей) и высотные (более 25 этажей) [71].

Следует особо отметить пожарную опасность высотных зданий и зданий повышенной этажности, которая связана с быстрым развитием пожара и сложностью его тушения. Результаты исследований и анализ пожаров позволили выявить характерные особенности развития пожаров в зданиях повышенной этажности. Основными путями распространения дыма в них являются коридоры, лестничные клетки, шахты лифтов и другие вертикальные коммуникации.

Продукты горения распространяются по вертикальным каналам со скоростью, превышающей 20 м/мин [44]. Время задымления верхних этажей здания исчисляется 2-3 минутами и сопровождается увеличением температуры в объемах коридоров, лестничных клеток и шахт лифтов.

Натурные испытания показали [44], что в течение 5 минут температура в объеме лестничных клеток может достичь при определенных условиях опасных для жизни человека пределов. Задымление зданий также происходит через зазоры и закладные трубы в междуэтажных перекрытиях, двери лестничных клеток и коридоров, не оборудованных уплотняющими прокладками в притворах.

Источниками задымления зданий повышенной этажности могут быть, также загоревшиеся кабины лифтов при этом под действием высокой температуры аппаратура управления лифтами быстро выходит из строя, а кабины лифтов блокируются в шахтах.

Значительная высота зданий связана с увеличением протяженности путей эвакуации в лестничных клетках и, соответственно, времени эвакуации. При этом время эвакуации людей во много раз превышает время задымления зданий при возможном пожаре.

Перечисленные особенности развития пожара в зданиях повышенной этажности требуют высылать на тушение пожаров силы и средства по повышенному номеру, следовательно, этажность здания влияет на определение состава и количества сил и средств.

Увеличению интенсивности горения, распространению огня и дыма при развитии пожара в здании может способствовать обрушение строительных конструкций. Разрушение строительных конструкций наступает вследствие возникновения в них усилий, превышающих минимально допускаемую несущую способность конструкции. Потеря несущей способности в условиях пожара может происходить под воздействием температуры или же вследствие уменьшения сечения конструкции за счет ее прогорания.

В реальных условиях температурный режим пожаров в помещениях всегда будет отличаться от температурного режима, рассматриваемого в лабораторных условиях [44, 70]. Следовательно, можно сделать вывод о том, что фактический предел огнестойкости конструкций при развитии

пожара в здании всегда будет отличаться от нормативного и этот фактор руководитель тушения пожара тоже учитывает в процессе анализа обстановки на пожаре.

В зависимости от места возникновения горения, конструктивных особенностей здания, планировки помещений, вида горючего материала, условий газообмена пожар в здании может распространяться по-разному.

Один из вариантов может характеризоваться непрерывным распространением пламени внутри помещений в горизонтальном направлении - через дверные проёмы и отверстия в стенах, и вертикальном - через лестничные клетки, оконные проёмы, люки и отверстия в перекрытиях. Линейная скорость распространения пламени по сгораемым перегородкам находится, согласно данным [95], в пределах 0,5 - 1,5 м/мин.

Другим вариантом может быть скрытое горение в пустотах строительных конструкций, вентиляционных каналах, шахтах и т. п., с распространением огня по горизонтали и, особенно, по вертикали - по этажам вплоть до чердака. При этом огонь распространяется часто без видимых в условиях пожара внешних признаков, а скорость распространения пожара может значительно превосходить скорость продвижения пламени по наружной поверхности ограждающих конструкций и мебели, находящейся в данном помещении. Особенно быстро распространяется пожар по пустотам сгораемых конструкций коридоров и галерей. Поэтому, наличие пустот в перегородках и перекрытиях здания является фактором, сильно осложняющим успешное выполнение задачи по тушению пожара. Следовательно, данный фактор также необходимо учитывать при определении количества сил и средств.

Необходимо отметить, что при коридорной системе планировки горение даже в одной из комнат этажа может вызвать распространение дыма и огня по всему этажу. Линейная скорость распространения пламени по коридору достигает 4 - 5 м/мин (особенно, если коридор оклеен обоями, или отделан горючими материалами), а при открытых окнах и дверях коридоров скорость распространения может быть больше указанных величин [70]. При секционной планировке распространение горения происходит, главным образом, в пределах одной квартиры и реже секции.

Серьезную опасность представляют пожары подвесных перекрытий, так как их обычно обнаруживают с большим опозданием. Горение по деревянным подвесным перекрытиям развивается интенсивно, благодаря наличию большого количества сгораемого материала. Металлические конструкции подвесных перекрытий при пожаре часто подвергаются деформациям под воздействием тепла и водяных струй.

При пожарах в чердаках жилых и административных зданий огонь по сгораемым конструкциям крыши может распространяться со скоростью 1,5

- 2 м/мин за счет вентиляции чердаков, а также развитой поверхности горения конструкций. В огне оказываются находящиеся на чердаке инженерное оборудование систем вентиляции и отопления. По вентиляционным коробам огонь может распространяться вниз. По сгораемой кровле огонь может перебрасываться на соседние здания и сооружения.

Следует особо отметить такой фактор, как наличие людей в горящем здании. Основной задачей подразделений при прибытии на пожар административного или жилого здания является быстрое установление наличия людей в горящих и смежных помещениях и обеспечение их безопасности, что отражено в нормативных документах [77, 113]. Поэтому, от количества людей, находящихся в зоне горения, также зависит состав сил и средств, привлекаемых к тушению пожара.

Для выявления факторов, влияющих на развитие пожара в здании, производят разведку. В ходе разведки выявляют наличие людей в здании, выясняют планировку помещений. С учетом особенностей развития пожаров на этажах определяют основные направления, по которым может происходить распространение пожара в выше - и нижерасположенные этажи, выясняют расположение проемов, которые могут явиться путями развития пожара. Определяют предел огнестойкости стен, перегородок и перекрытий, проверяют, не проник ли огонь в пустоты конструкций и вентиляционные каналы. При обнаружении признаков распространения пламени вверх по пустотам конструкций проводят тщательную разведку во всех вышерасположенных этажах.

Вышеперечисленные факторы: назначение, степень огнестойкости, наличие людей, этажность и другие, представляющие оперативно-тактическую характеристику здания, влияют только на отдельные (частные) стороны развития и тушения пожаров в помещениях. Задача руководителей тушения пожара состоит в том чтобы, прежде всего, обобщить полученные данные, выявить особенности развития пожара в здании, и разработать наиболее эффективные способы и приемы тушения пожаров, и на основании данного заключения определить необходимое количество сил и средств и подробное содержание боевых задач подразделениям.

На основании проведенного анализа оперативно-тактической характеристики административных и жилых зданий можно сделать вывод о том, что основными факторами, влияющими на определение ранга пожара, т.е. количество сил и средств, привлекаемых к тушению пожара на данных объектах, являются:

- площадь пожара;
- этаж, на котором произошел пожар;
- присутствие людей на объекте;
- степень огнестойкости здания (1 – 5);

- этажность здания (малоэтажные, многоэтажные, здания повышенной этажности и высотные);
- внутренняя планировка здания (секционная или коридорная);
- наличие систем вентиляции;
- наличие системы дымоудаления;
- наличие легковоспламеняющихся материалов;
- тип междуэтажных перекрытий (деревянные или железобетонные);
- пожарная нагрузка;
- площадь проемов в ограждающих конструкциях помещений;
- предел огнестойкости строительных конструкций.

При построении системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара, основывающейся на использовании опыта высококвалифицированных руководителей тушения пожара, на начальном этапе необходимо провести формализацию вышеперечисленных факторов, т.е. представить их в структурированном виде как параметры, влияющие на установление ранга пожара. Такая формализация может быть осуществлена, в частности, с помощью методов "качественных" экспертных оценок [57, 86]. В этих методах под оценками экспертов предполагаются количественные измерения соответствующих качественных показателей, влияющих на установление ранга пожара.

Сравнительный анализ методов "качественной" экспертной оценки, проведенный с точки зрения возможности их использования для формализации основных факторов, т.е. их представления в виде параметров разрабатываемой математической модели, влияющих на установление ранга пожара, позволяет выбрать способ, применимый для решения данной задачи.

2. Методы получения качественных экспертных оценок

В настоящее время наиболее распространенными методами "качественной" экспертной оценки являются: метод парных сравнений, ранжирование альтернативных вариантов, метод векторов предпочтений, экспертная классификация (основные методы "качественной" экспертной оценки представлены в работах [3, 13, 52, 56, 57, 67, 73, 82, 87]).

Метод парных сравнений является одним из наиболее распространенных методов оценки сравнительной предпочтительности альтернативных вариантов. Суть метода, согласно [3], заключается в следующем.

Эксперту последовательно предлагаются пары альтернативных вариантов, для которых он должен указать более предпочтительный. Если эксперт относительно какой-либо пары затрудняется это сделать, он вправе посчитать сравниваемые альтернативные варианты равноценными либо

несравнимыми.

После последовательного предъявления эксперту всех пар альтернативных вариантов определяется их сравнительная предпочтительность по оценкам данного эксперта. В результате парных сравнений, если эксперт оказался последовательным в своих предпочтениях, все оцениваемые альтернативные варианты могут оказаться проранжированными по тому или иному критерию, показателю, свойству. Если эксперт признал некоторые альтернативные варианты несопоставимыми, то в результате будет получено лишь их частичное упорядочение.

В практике использования метода парных сравнений нередко приходится сталкиваться с непоследовательностью и даже противоречивостью оценок эксперта. В этих случаях необходимо проведение специального анализа результатов экспертизы.

Отметим также, что при достаточно большом числе оцениваемых альтернативных вариантов, процедура парного сравнения всех возможных пар становится трудоемкой для эксперта. В этом случае целесообразно применение соответствующих модификаций метода парных сравнений. Например, если предположить непротиворечивость оценок эксперта, то практически достаточно однократного предъявления каждого альтернативного варианта в паре с каким-либо другим.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с помощью данного метода можно провести ранжирование всех вариантов, предъявленных эксперту, определить их важность относительно друг друга, однако нельзя произвести разбиение параметров объекта экспертизы на группы. Следовательно, в нашем случае, т. е. для формализации факторов (параметров), влияющих на установление ранга пожара, применение этого метода не представляется возможным.

Рассмотрим следующий метод получения качественных оценок - ранжирование альтернативных вариантов [87].

Основной процедурой данного метода является непосредственное ранжирование экспертом оцениваемых альтернативных вариантов по предпочтительности. В этом методе эксперту предъявляются отобранные для сравнительной оценки альтернативные варианты, но желательно не более 20 - 30 для их упорядочения по предпочтительности, так как практика использования данного метода показывает, что большее число вариантов вызывает затруднения у экспертов при проведении их сравнительной характеристики. Если альтернативных вариантов больше, то целесообразно использование соответствующих модификаций метода ранжирования. Например, ранжированию альтернативных вариантов может предшествовать их разбиение на упорядоченные по предпочтению классы с помощью метода экспертной классификации.

Ранжирование сравниваемых объектов эксперт может осуществлять

различными способами. Приведем два из них. В соответствии с первым эксперту предъявляется весь набор альтернативных вариантов, и он указывает среди них наиболее предпочтительный. Затем эксперт указывает наиболее предпочтительный альтернативный вариант среди оставшихся и т.д., пока все оцениваемые альтернативные варианты не будут им проранжированы.

При втором способе эксперту первоначально предъявляются два или больше альтернативных вариантов, которые ему предлагается упорядочить по предпочтениям. Если эксперту первоначально предлагаются несколько альтернативных вариантов для упорядочения по предпочтениям, то он на этом этапе может воспользоваться первым способом ранжирования. После проведения первоначального ранжирования эксперту последовательно предлагаются новые еще не оцененные им альтернативные варианты. Эксперт должен определить место вновь предъявленного альтернативного варианта среди проранжированных ранее. Процедура завершается после предъявления и оценки последнего альтернативного варианта.

Из вышесказанного следует вывод, что с помощью данного метода нам не удастся полностью решить задачу по определению ранга пожара, так как суть решения нашей задачи заключается в отнесении экспертом различных значений векторов состояния к определенным группам (в нашем случае - рангам пожара). Однако, на некоторых этапах решения данной задачи этот метод нами будет применяться (в частности, как будет показано в следующем разделе, для упорядочения значения векторов состояния рангов пожара внутри группы).

Следующий метод, который следует рассмотреть - метод векторов предпочтений.

Этот метод чаще используется при необходимости получения коллективного экспертного ранжирования [3]. Эксперту предъявляется весь набор оцениваемых альтернативных вариантов и предлагается для каждого альтернативного варианта указать сколько, по его мнению, других альтернативных вариантов превосходят данный. Эта информация представляется в виде вектора, первая компонента которого - число альтернативных вариантов, которые превосходят первый, вторая компонента - число альтернативных вариантов, которые превосходят второй альтернативный вариант и т.д. Если оценивается 10 альтернативных вариантов, то вектор предпочтений может выглядеть, например следующим образом: (3. 7. 0. 4. 8. 6, 1, 9, 5, 2).

Если в векторе предпочтений каждое число встречается ровно один раз, то экспертом указано строгое ранжирование альтернативных вариантов по предпочтениям. В противном случае полученный результат не является строгим ранжированием и отражает либо затруднения эксперта при оценке сравнительной предпочтительности отдельных альтернативных ва-

риантов, либо наличие среди них равноценных.

Метод векторов предпочтений отличается сравнительно небольшой трудоемкостью. Метод может быть использован и в тех случаях, когда у эксперта имеются затруднения при использовании других методов оценки сравнительной предпочтительности альтернативных вариантов.

Как отмечено в работе [3], при коллективной экспертизе, проводимой с использованием метода векторов предпочтений, целесообразно рассчитать результирующее коллективное ранжирование.

Отсюда можно сделать вывод о том, что с помощью данного метода мы можем провести ранжирование всех вариантов, предъявленных экспертом, но для решения задачи определения ранга пожара данный метод не подходит, так как в задаче будет использовано большое количество параметров, которое будет приводить к непоследовательности оценок эксперта. Отметим также и такой фактор, заключающийся в необходимости отнесения данных значений по предпочтительности к различным группам, а с помощью данного метода возможно провести ранжирование только внутри одной группы.

И в заключении нашего анализа рассмотрим метод экспертной классификации.

Этот метод целесообразно использовать при необходимости определения принадлежности оцениваемых альтернативных вариантов к установленным и принятым к использованию классам, категориям, уровням, сортам (далее классам) [52, 56, 73, 87]. Он может быть использован также и тогда, когда конкретные классы, к которым должны быть отнесены оцениваемые объекты, заранее не определены. Может быть заранее неопределенным и число классов, на которое производится разбиение оцениваемых объектов. Оно может быть установлено лишь после завершения процедуры классификации.

Если эксперту необходимо отнести каждый из альтернативных вариантов к одному из заранее установленных классов, то наиболее распространена процедура последовательного предъявления эксперту альтернативных вариантов. В соответствии с имеющейся у него информацией об оцениваемом объекте и используемой им оценочной системе эксперт определяет, к какому из классов оцениваемый объект принадлежит.

После завершения процедуры последовательного предъявления альтернативных вариантов эксперту может быть предъявлен результат его оценки в виде распределения всех оцененных им альтернативных вариантов по классам. На этом этапе эксперту, как правило, предоставляется возможность, исходя из общего результата классификации, внести коррективы в данные им оценки. Если проводится коллективная экспертиза, то результаты экспертной классификации, указанные каждым из экспертов, обрабатываются с целью получения результирующей коллективной эксперт-

ной оценки.

В зависимости от целей экспертизы может возникнуть необходимость отнесения альтернативных вариантов к упорядоченным классам. Скажем, необходимо отнести оцениваемые объекты к соответствующим категориям, причем так, чтобы более предпочтительные были отнесены к более предпочтительным категориям. Естественно, это отражается на процедуре экспертной классификации. Но главное, чтобы эксперт однозначно понимал поставленную перед ним задачу.

Если число классов, на которое должны быть разбиты альтернативные варианты, заранее не оговаривается, то целесообразно использование следующей процедуры [87]. Эксперту предъявляется пара альтернативных вариантов и предлагается определить: относятся ли они к одному классу, или к разным. После этого эксперту последовательно предлагаются оцениваемые альтернативные варианты, и выясняется, может ли каждый из них быть отнесенным к одному из образовавшихся к тому времени классов, или необходимо для данного альтернативного варианта образовать новый класс. Процедура завершается, после того, как эксперту будут предъявлены все альтернативные варианты.

Выделим основные свойства, которые характерны для задачи, решаемой методом экспертной классификации.

Задача решается методом экспертной классификации, как следует из обобщений, проведенных в работе [73], в тех случаях, когда она обладает совокупностью следующих характеристик:

- Задача может быть решена посредством манипуляции с символами (т.е. с помощью символических рассуждений), а не манипуляцией с числами.
- Задача должна иметь эвристическую, а не алгоритмическую природу, т. е. решение должно требовать применения эвристических правил (правил не имеющих строго обоснования и опирающихся на опыт и интуицию).
- Задача должна быть достаточно узкой, чтобы решаться методами экспертной классификации, и практически значимой.

Таким образом, данный метод целесообразно использовать для определения принадлежности оцениваемых альтернативных вариантов к установленным классам. На этапе формализации, в нашей задаче по определению ранга пожара, также возникает необходимость классификации параметров (факторов), влияющих на установление ранга пожара. Следовательно, в заключение нашего анализа вышеизложенных методов получения экспертных оценок можно сделать вывод, что именно метод экспертной классификации является наиболее приемлемым для решения задачи по определению ранга.

3. Решение задачи по определению ранга пожара

Построим алгоритм решения задачи по определению ранга пожара, основанную на методе экспертной классификации, рассмотренном в предыдущем разделе. Необходимо отметить, что данный алгоритм, при соответствующей модификации, может применяться для определения сил и средств и в других службах экстренного реагирования, силовых и специальных структурах.

В общем виде формулировку задачи экспертной классификации можно, в соответствии с [51, 116], представить следующим образом.

Пусть заданы следующие множества:

- множество $P = \{P_1, \dots, P_l, \dots, P_L\}$ независимых свойств (рангов пожара), которыми может обладать объект классификации (горящее здание), L – число рангов;

- множество $Q = \{Q_1, \dots, Q_m, \dots, Q_M\}$ параметров, характеризующих с различных сторон объект классификации, M – число этих параметров;

- множество $V_m = \{q_{m1}, \dots, q_{mn_m}, \dots, q_{mN_m}\}$ возможных значений Q_m - го параметра, N_m - число этих значений;

- множество $A = V_1 \times \dots \times V_m \times \dots \times V_M$ всех гипотетически возможных состояний объекта классификации, число которых равно произведению чисел значений всех параметров $N_1 \times \dots \times N_m \times \dots \times N_M$, при этом каждое состояние определяется набором из M значений параметров $\{q_{1n_1}, \dots, q_{mn_n}, \dots, q_{Mn_M}\}$ и характеризуется вектором

$a_{n_1 \dots n_m \dots n_M} = (q_{1n_1}, \dots, q_{mn_n}, \dots, q_{Mn_M})$, где $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M} \in A$, и $q_{mn_m} \in Q_m, m = \overline{1, M}$.

В общем случае требуется на основе знаний эксперта классифицировать все вектора состояния объекта $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$, отнеся каждый из них к одному или нескольким классам решений.

Для построения математической модели определения ранга пожара нами в работе [43] предлагается следующая методика.

При распределении векторов состояния объекта $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$ по их принадлежности к определенным классам (рангам пожара), в процессе получения информации от эксперта используется гипотеза о различной характерности значений параметров по отношению к каждому из рангов (обоснование данной гипотезы приведено в работах [51, 116]). Согласно этой гипотезе эксперт может упорядочить все значения q_{mn_n} каждого парамет-

ра Q_m по их характеристике для всех рангов пожара P_l , $l = \overline{1, L}$, при этом данное упорядочение не зависит от других параметров.

На практике экспертам предлагается заполнить таблицу, которая в соответствии с нашим примером будет выглядеть как табл. 1. В этой таблице предлагается проставлять оценки W_{lmn_n} , принимающие дискретные значения от "1" до "5". При этом в таблице цифра "5" обозначает, что параметр явно принадлежит к данному рангу пожара, "4" – параметр скорее принадлежит к данному рангу, "3" - принадлежит в равной степени, "2" - скорее не принадлежит, "1" - явно не принадлежит.

Естественно, что такая таблица заполняется многими экспертами - руководителями тушения пожаров, имеющими значительный опыт при тушении пожаров, и независимо друг от друга.

Необходимо учитывать, что рассматриваемые параметры Q_m , $m = \overline{1, M}$ имеют различную значимость при определении ранга, так как на практике они влияют на его установление в разной степени. В связи с этим использование одинаковой оценочной шкалы ($1 \leq W_{lmn_n} \leq 5$) для значений q_{mn_n} параметров Q_m , может приводить к завышению, либо к занижению ранга пожара. Поэтому предлагается для учета важности параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$ при оценивании объекта каждому из них экспертным путем сопоставить весовой коэффициент α_m , пропорциональный вкладу параметра Q_m в оценку свойства объекта P_l .

При определении значений весовых коэффициентов α_m для соответствующих параметров Q_m можно использовать различные методы, в зависимости от количества параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$.

Если количество параметров Q_m невелико, то весовые коэффициенты α_m определяются непосредственно экспертами. В случае большого количества параметров Q_m у экспертов могут возникнуть затруднения при их оценке, поэтому для правильного определения весовых коэффициентов α_m целесообразно воспользоваться методом парных сравнений, представленным в работе [84, 85].

Таблица 1

Значения параметров по отношению к рангам пожара

	q_{11}	...	q_{1n_1}	...	q_{1N_1}	...	q_{m1}	...	q_{mn_m}	...	q_{mN_m}	...	q_{M1}	...	q_{Mn_M}	...	q_{MN_M}
P_1	w_{111}	...	w_{11n_1}	...	w_{11N_1}	...	w_{1m1}	...	w_{1mn_m}	...	w_{1mN_m}	...	w_{1M1}	...	w_{1Mn_M}	...	w_{1MN_M}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
P_l	w_{l11}	...	w_{l1n_1}	...	w_{l1N_1}	...	w_{lm1}	...	w_{lmn_m}	...	w_{lmN_m}	...	w_{lM1}	...	w_{lMn_M}	...	w_{lMN_M}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
P_L	w_{L11}	...	w_{L1n_1}	...	w_{L1N_1}	...	w_{Lm1}	...	w_{Lmn_m}	...	w_{LmN_m}	...	w_{LM1}	...	w_{LMn_M}	...	w_{LMN_M}

Весовые коэффициенты α_m параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$ определяются таким образом, чтобы выполнялось следующее условие нормировки:

$$\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1. \quad (1)$$

Для определения весовых коэффициентов α_m будем сравнивать между собой относительную значимость параметров Q_m , устанавливая с помощью оценок экспертов предпочтения P_{kn} в каждой паре Q_k и Q_n на основе парных отношений, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Парные отношения параметров

P_{kn}	Определение
1	Равная значимость параметров Q_k и Q_n
3	Параметр Q_k имеет умеренное превосходство над Q_n
5	Параметр Q_k имеет существенное превосходство над Q_n
7	Параметр Q_k имеет очень сильное превосходство над Q_n
9	Параметр Q_k имеет сверхпревосходство над Q_n
2,4,6,8	Используются в промежуточных случаях

При сравнении параметров Q_k и Q_n в каждом парном отношении должно выполняться равенство:

$$P_{kn} \cdot P_{nk} = 1. \quad (2)$$

Далее, используя полученные значения оценок предпочтений P_{kn} по каждой паре параметров Q_k и Q_n , составим матрицу парных сравнений, представленную в табл. 3, где весовые коэффициенты α_m параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$, влияющих на установление ранга пожара, рассчитываются по формулам, приведенным в двух последних столбцах матрицы.

Таблица 3

Матрица парных сравнений параметров, влияющих на ранг пожара

Параметры	Q_1	...	Q_k	...	Q_n	...	Q_M	d_m	α_m
Q_1	1	...	Q_{1k}	...	Q_{1n}	...	Q_{1M}	$d_1 = \sqrt[M]{\prod_{m=1}^M Q_{1m}}$	$\alpha_1 = \frac{d_1}{D}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Q_k	Q_{k1}	...	1	...	Q_{kn}	...	Q_{kM}	$d_k = \sqrt[M]{\prod_{m=1}^M Q_{km}}$	$\alpha_k = \frac{d_k}{D}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Q_n	Q_{n1}	...	Q_{nk}	...	1	...	Q_{nM}	$d_n = \sqrt[M]{\prod_{m=1}^M Q_{nm}}$	$\alpha_n = \frac{d_n}{D}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Q_M	Q_{M1}	...	Q_{Mk}	...	Q_{Mn}	...	1	$d_M = \sqrt[M]{\prod_{m=1}^M Q_{Mm}}$	$\alpha_M = \frac{d_M}{D}$
								$D = \sum_{m=1}^M d_m$	$\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1$

На следующем этапе решения задачи определения ранга пожара заполняется таблица характерности векторов состояния объекта для каждого ранга пожара (табл. 4). Предложена следующая методика по заполнению этой таблицы.

Для всех рангов P_l , $l = \overline{1, L}$ по каждому вектору состояния объекта $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M} = (q_{1n_1}, \dots, q_{mn_{n_m}}, \dots, q_{Mn_M})$, где $q_{mn_{n_m}} \in Q_m$, $m = \overline{1, M}$, вычисляется $x_{l n_1 \dots n_m \dots n_M}$ - сумма произведений весовых коэффициентов α_m на соответствующие им значения оценок $w_{lmn_{n_m}}$ параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$ (т. е. с учетом важности их вклада в оценку объекта):

$$x_{l n_1 \dots n_m \dots n_M} = \alpha_1 w_{l1n_1} + \dots + \alpha_m w_{lmn_{n_m}} + \dots + \alpha_M w_{lMn_M}. \quad (3)$$

Полученное множество $x_{l n_1 \dots n_m \dots n_M}$, соответствующее произвольному рангу P_l , число элементов которого равно произведению чисел $N_1 \times \dots \times N_m \times \dots \times N_M$ значений всех параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$, упорядочивается по убы-

ванию суммы (3). Состояния с большими $x_{l n_1 \dots n_m \dots n_M}$ считаются более характерными для P_l . Далее, каждому состоянию, в соответствии с полученным упорядоченным рядом $x_{l n_1 \dots n_m \dots n_M}$ присваивается порядковый номер K . Порядковый номер, равный единице, соответствует наиболее характерному состоянию для свойства P_l . Эта процедура (установление порядковых номеров) продлевается для всех P_l , $l = \overline{1, L}$, и на основе данной классификации определяется принадлежность рассматриваемого вектора состояния $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$, т. е. ранг P_l , к которому он относится.

Таблица 4

Характерность векторов состояния объекта для каждого ранга

	$a_{1 \dots 1_m \dots 1_M}$	...	$a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$	...	$a_{N_1 \dots N_m \dots N_M}$
P_1	$x_1(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$x_1(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$x_1(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
	$K_1(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$K_1(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$K_1(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
...	...	...	...	...	...
P_l	$x_l(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$x_l(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$x_l(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
	$K_l(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$K_l(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$K_l(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
...	...	...	...	...	...
P_L	$x_L(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$x_L(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$x_L(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
	$K_L(1 \dots 1_m \dots 1_M)$	...	$K_L(n_1 \dots n_m \dots n_M)$	...	$K_L(N_1 \dots N_m \dots N_M)$
$P_l : (x_l \rightarrow \max)$	$l_{(1 \dots 1_m \dots 1_M)}$	...	$l_{(n_1 \dots n_m \dots n_M)}$	...	$l_{(N_1 \dots N_m \dots N_M)}$

После того, как табл. 4 будет заполнена, ее необходимо предъявить экспертам для оценки соответствия найденной расчетным путем принадлежности рассматриваемых векторов состояния $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$ к определенным рангам P_l с их реальной принадлежностью. На основе этого сравнения можно произвести корректировку весовых коэффициентов α_m и оценочной шкалы $w_{l m n}$, с целью того, чтобы добиться наибольшего совпадения распределения векторов состояния по рангам, полученного на основе данной модели, с реальным распределением.

Для организации рациональной процедуры экспертного опроса, к ка-

ждой паре $(a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}, a_{i_1 \dots i_m \dots i_M})$ векторов состояния из множества A , можно применить бинарные отношения доминирования по их характеристике D_{P_l} определенному рангу P_l :

$$D_{P_l} = \left\{ (a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}, a_{i_1 \dots i_m \dots i_M}) \in A \times A \mid \forall m = \overline{1, M}, \right. \\ \left. \exists m, 1 \leq m \leq M \mid (q_{m j_m}, q_{m i_m}) \in D_{P_l} \right\}, l = \overline{1, L}. \quad (4)$$

Из определения отношения D_{P_l} вытекает, что если некоторый вектор состояния $a_{i_1 \dots i_m \dots i_M}$ отнесен экспертом к какому-то рангу пожара P_l , то вектор состояния $a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}$, описываемый значениями параметров q_{mn_n} , не менее характерных для этого ранга, также относится к этому рангу, т. е.

$$[a_{i_1 \dots i_m \dots i_M} \in P_l, (a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}, a_{i_1 \dots i_m \dots i_M}) \in D_{P_l}] \Rightarrow a_{j_1 \dots j_m \dots j_M} \in P_l. \quad (5)$$

И далее, если некоторый вектор состояния $a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}$ не принадлежит к какому-то рангу пожара P_l , то и вектор состояния $a_{i_1 \dots i_m \dots i_M}$, описываемый менее характерными для данного ранга значениями параметров q_{mn_n} также не принадлежит этому рангу, т. е.

$$[a_{j_1 \dots j_m \dots j_M} \notin P_l, (a_{j_1 \dots j_m \dots j_M}, a_{i_1 \dots i_m \dots i_M}) \in D_{P_l}] \Rightarrow a_{i_1 \dots i_m \dots i_M} \notin P_l. \quad (6)$$

Отметим, что условия (5) и (6) и построенные экспертами вышеуказанные табл. 1, 4, позволяют по ряду состояний, без их непосредственной идентификации, делать некоторые заключения и тем самым организовывать рациональную процедуру экспертного опроса, целью которого является классификация всех возможных векторов состояния $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$ при уменьшении числа вопросов к экспертам.

На основе разработанной модели построим систему поддержки принятия решений по определению ранга пожара.

Алгоритм решения задачи определения ранга пожара методом экспертной классификации можно представить в виде блок-схемы, которая изображена на рис. 1. На данной схеме выделены основные этапы решения данной задачи.

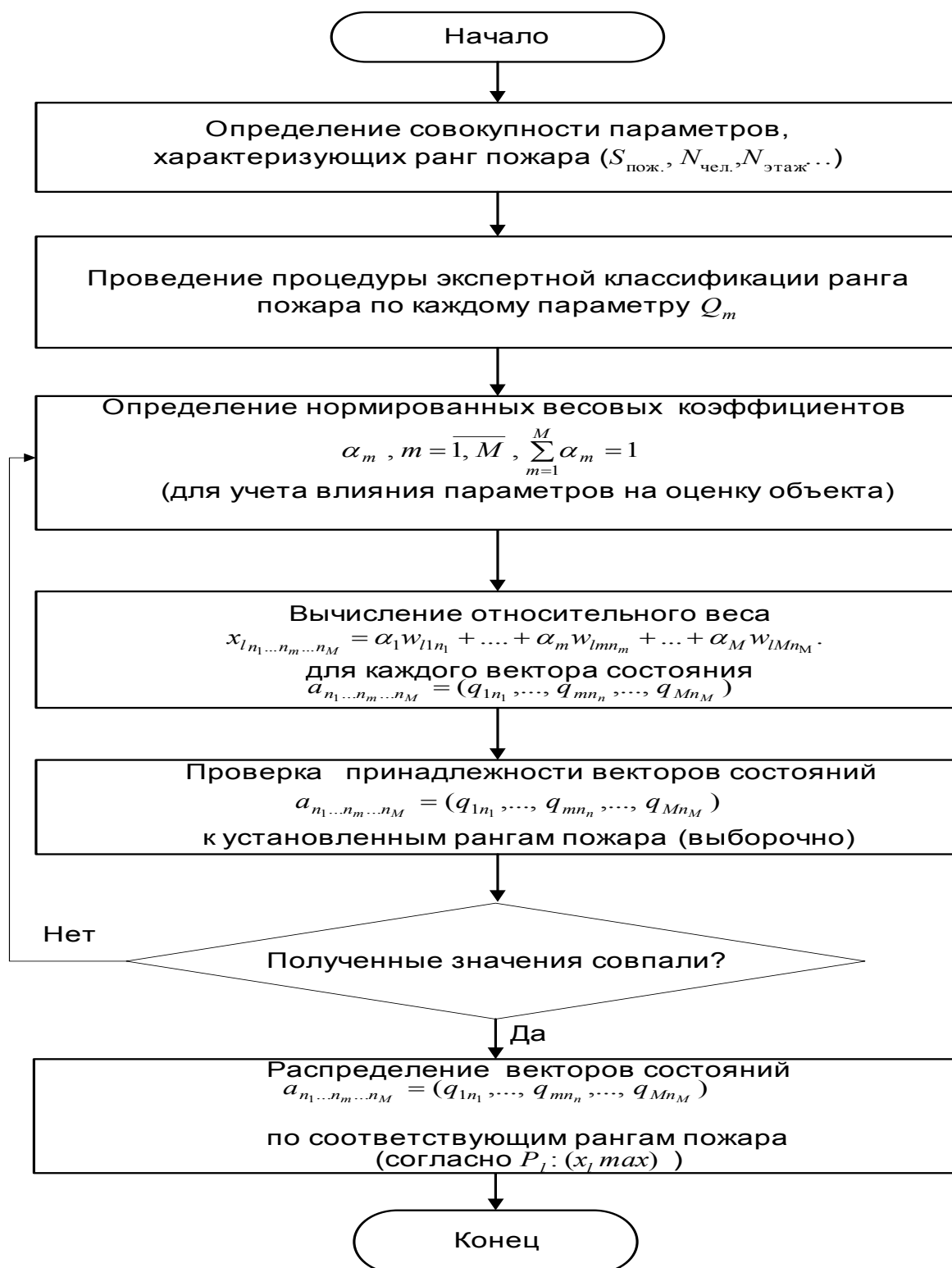


Рис. 1. Блок схема алгоритма решения задачи определения ранга пожара

В заключении отметим достоинства и недостатки предложенного метода решения задачи определения ранга пожара.

Достоинством данного метода решения задачи является возможность формализовать любые параметры $Q_m, m = \overline{1, M}$. При этом число рассматриваемых параметров не ограничено.

Среди недостатков метода отметим то, что не учитывается плавность перехода границ между смежными классами, т.е. расплывчатость границ между рангами пожара по каждому параметру, что может приводить к неточной оценке (завышению или занижению ранга). Кроме того, при увеличении числа параметров усложняется обработка данных специалистами из аналитической группы, так как число $(N_1 \times \dots \times N_m \times \dots \times N_M)$ векторов состояния $a_{n_1 \dots n_m \dots n_M}$, по мере добавления новых параметров, возрастает как степенная функция с показателем M .

4. Апробация модели

Для апробации данной математической модели была разработана пробная функциональная версия программного обеспечения на примере административных и жилых зданий, позволяющая реализовать предложенный выше алгоритм решения задачи определения ранга пожара.

Для проведения экспериментальной оценки работы системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара получены данные от экспертов, т.е. руководителей тушения пожара. Система поддержки принятия решений построена для гарнизонов пожарной охраны, в которых определены пять номеров вызовов (рангов пожара) для привлечения сил и средств.

В СППР, построенной на основе метода экспертной классификации (далее СППР₁), использованы 11 параметров, влияющих на установление ранга пожара (подробно рассмотренные в разделе 2.1):

- Q_1 – площадь пожара;
- Q_2 – этаж, на котором произошел пожар;
- Q_3 – присутствие людей на объекте;
- Q_4 – внутренняя планировка здания;
- Q_5 – наличие автоматических установок пожаротушения;
- Q_6 – тип междуэтажных перекрытий;
- Q_7 – наличие систем вентиляции;
- Q_8 – наличие на объекте ЛВЖ, ГЖ;
- Q_9 – наличие в здании систем дымоудаления;
- Q_{10} – степень огнестойкости здания (СО);
- Q_{11} – этажность здания.

Приведем возможные значения q_{ml} , которые могут иметь данные параметры.

Q_1 - "площадь пожара S ...": q_{11} - " $S \leq 50 \text{ м}^2$ "; q_{12} - " $50 < S \leq 100 \text{ м}^2$ "; q_{13} - " $100 < S \leq 150 \text{ м}^2$ "; q_{14} - " $150 < S \leq 300 \text{ м}^2$ "; q_{15} - " $S > 300 \text{ м}^2$ ".

Q_2 - "очаг пожара в пределах ...": q_{21} - "1- 7 этажей"; q_{22} - "8 - 12 этажей"; q_{23} - "13 - 30 этажей"; q_{24} - "на 30 этаже и выше".

Q_3 - "люди на объекте в зоне горения ...": q_{31} - "присутствуют"; q_{32} - "отсутствуют".

Q_4 - "планировка здания ...": q_{41} - "секционная"; q_{42} - "коридорная".

Q_5 - "автоматические установки пожаротушения на объекте ...": q_{51} - "есть"; q_{52} - "нет".

Q_6 - "перекрытия...": q_{61} - "деревянные"; q_{62} - "железобетонные".

Q_7 - "системы вентиляции на объекте ...": q_{71} - "есть"; q_{72} - "нет".

Q_8 - "ЛВЖ, ГЖ на объекте ...": q_{81} - "есть"; q_{82} - "нет".

Q_9 - "в здании предусмотрена система дымоудаления ...": q_{91} - "да"; q_{92} - "нет".

Q_{10} - "степень огнестойкости (СО)...": q_{101} - "1-СО"; q_{102} - "2 - СО"; q_{103} - "3-СО"; q_{104} - "4 - СО"; q_{105} - "5- СО".

Q_{11} - "этажность...": q_{111} - "малоэтажные (высотой до 3-х этажей)"; q_{112} - "многоэтажные (от 4-х до 9 этажей)"; q_{113} - "здания повышенной этажности (от 10 до 25 этажей)"; q_{114} - "высотные (более 25 этажей)".

В этом случае множество всех гипотетически возможных состояний объекта, на котором возник пожар, равняется декартовому произведению множеств

$$\begin{aligned} A &= Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \times Q_4 \times Q_5 \times Q_6 \times Q_7 \times Q_8 \times Q_9 \times Q_{10} \times Q_{11} = \\ &= \{q_{11}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{15}\} \times \{q_{21}, q_{22}, q_{23}, q_{24}\} \times \\ &\times \{q_{31}, q_{32}\} \times \{q_{41}, q_{42}\} \times \{q_{51}, q_{52}\} \times \{q_{61}, q_{62}\} \times \\ &\times \{q_{71}, q_{72}\} \times \{q_{81}, q_{82}\} \times \{q_{91}, q_{92}\} \times \\ &\times \{q_{101}, q_{102}, q_{103}, q_{104}, q_{105}\} \times \{q_{111}, q_{112}, q_{113}, q_{114}\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отсюда определим число возможных состояний объекта

$$\begin{aligned} M &= n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times n_5 \times n_6 \times n_7 \times n_8 \times n_9 \times n_{10} \times n_{11} = \\ &= 5 \times 4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 5 \times 4 = 51200. \end{aligned} \quad (8)$$

Получаем при этом множество гипотетических состояний объекта описываемых векторами состояния $a_{n_1...n_m...n_M}$:

$$\begin{aligned} a_{1111111111} &= \{q_{11}, q_{21}, q_{31}, q_{41}, q_{51}, q_{61}, q_{71}, q_{81}, q_{91}, q_{101}, q_{111}\}, \\ a_{2111111111} &= (q_{12}, q_{21}, q_{31}, q_{41}, q_{51}, q_{61}, q_{71}, q_{81}, q_{92}, q_{101}, q_{111}), \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \\ a_{5422222254} &= (q_{15}, q_{24}, q_{32}, q_{42}, q_{52}, q_{62}, q_{72}, q_{82}, q_{92}, q_{105}, q_{114}). \end{aligned} \quad (9)$$

Каждое состояние можно интерпретировать, например, следующим образом, например:

$a_{1111121111} = (q_{11}, q_{21}, q_{31}, q_{41}, q_{51}, q_{62}, q_{71}, q_{81}, q_{91}, q_{101}, q_{111})$ - площадь очага пожара менее 50 м^2 , пожар в пределах 1- 7 этажа, на объекте находятся люди, здание имеет секционную планировку, в нем имеются автоматические установки пожаротушения, перекрытия в нем железобетонные, в здании есть системы вентиляции, в нем обнаружена горючая жидкость, также в здании предусмотрена система дымоудаления, здание относится к 1 степень огнестойкости и является малоэтажным.

Экспертами заполнена таблица характерности значений параметров по отношению к каждому из рангов пожара (табл. 5.). При этом в таблице цифра "5" обозначает, что значение параметра явно принадлежит данному рангу пожара, "4" – данное значение параметра скорее принадлежит данному рангу, "3" - принадлежит в равной степени, "2" скорее не принадлежит, "1" явно не принадлежит данному рангу.

Таблица 5

Характерность значений параметров по отношению к каждому из рангов пожара

	Площадь пожара (м ²)					Номер этажа, на котором произошёл пожар				Наличие людей в зоне горения		Внутренняя планировка		Наличие АУП	
	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	q_{15}	q_{21}	q_{22}	q_{23}	q_{24}	q_{31}	q_{32}	q_{41}	q_{42}	q_{51}	q_{52}
	$S < 50$	$50 \leq S < 100$	$100 \leq S < 150$	$150 \leq S < 300$	$S \geq 300$	1-7	8-12	13-30	>30	есть	нет	секционная	коридорная	есть	нет
P_1	5	4	2	1	1	5	2	1	1	2	5	5	3	5	2
P_{16}	5	5	3	1	1	5	3	2	2	2	5	5	3	5	2
P_2	4	4	5	3	2	4	5	3	3	3	4	4	4	4	3
P_3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4
P_4	2	2	3	5	4	3	3	5	5	5	2	3	5	2	5
P_5	1	1	2	4	5	2	2	4	5	5	2	3	5	2	5

Продолжение табл. 5

	Тип междуэтажных перекрытий		Наличие систем вентиляции		Наличие ЛВЖ, ГЖ		Наличие систем дымоудаления		Степень огнестойкости здания					Этажность здания (этаж)			
	q_{61}	q_{62}	q_{71}	q_{71}	q_{81}	q_{82}	q_{91}	q_{92}	q_{101}	q_{102}	q_{103}	q_{104}	q_{105}	q_{111}	q_{112}	q_{113}	q_{114}
	деревянные	железобетонные	есть	нет	есть	нет	есть	нет	1	2	3	4	5	$N \leq 3$	$4 \leq N \leq 9$	$10 \leq N \leq 25$	$N > 25$
P_1	2	5	2	5	2	5	4	2	5	4	3	2	1	5	4	3	2
P_{16}	3	5	3	5	2	5	4	2	5	5	3	3	2	5	5	3	3
P_2	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	5	4	3	4	5	4	4
P_3	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	5	4	3	4	5	4
P_4	5	2	5	3	5	2	2	4	2	2	3	3	4	3	3	4	5
P_5	5	2	5	2	5	2	2	4	1	1	2	3	5	2	3	4	5

Интерфейс программы представлен на рис. 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАНГА ПОЖАРА

ВВОД ДАННЫХ

ПЛОЩАДЬ ПОЖАРА (М.КВ) ☐ не включать в расчет

НОМЕР ЭТАЖА ☐ не включать в расчет

☒ ПРИСУТСТВИЕ ЛЮДЕЙ НА ОБЪЕКТЕ ☐ не включать в расчет

ВНУТРЕННЯЯ ПЛАНИРОВКА ЗДАНИЯ
☒ секционная ☐ коридорная ☐ не включать в расчет

☐ НАЛИЧИЯ АУПТ ☒ не включать в расчет

ТИП МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРТИЯ
☒ деревянные ☐ железобетонные ☒ не включать в расчет

☐ НАЛИЧИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ☒ не включать в расчет

☐ НАЛИЧИЕ ЛВЖ, ГЖ ☒ не включать в расчет

☐ НАЛИЧИЕ СИСТЕМ ДЫМОУДАЛЕНИЯ ☒ не включать в расчет

СТЕПЕНЬ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ ☐ не включать в расчет

ЭТАЖНОСТЬ ЗДАНИЯ ☐ не включать в расчет

Промежуточные вычисления

Значения диагностическ

Площади пожара 5;0;0;0;0

Высоты здания 5;0;0;0

ПРИСУТСТВИЕ ЛЮДЕЙ НА ОБ

ВНУТРЕН. ПЛАНИРОВКА

НАЛИЧИЯ УСТ. АВТ. ПОЖТУШ

ТИП М/У ЭТАЖНОГО ПЕРЕКРТИ

НАЛИЧИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦ

НАЛИЧИЕ ЛВЖ, ГЖ 0;0

НАЛИЧИЕ СИСТЕМ ДЫМОУД.

СТЕПЕНЬ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЗД

ЭТАЖНОСТЬ ЗДАНИЯ 5;0

Сумма РАНГА 1 =

Сумма РАНГА 1Б =

Сумма РАНГА 2 =

Сумма РАНГА 3 =

Сумма РАНГА 4 =

Сумма РАНГА 5 =

РЕЗУЛЬТАТ

Ранг пожара 1Б

РАСЧЕТ

Рис. 2. Вид диалогового окна программы "Определение ранга пожара в административных и жилых зданиях" (СППР₁)

Полученные в процессе экспертного опроса руководителей тушения пожара оценки введены в базу данных программ для экспериментальной оценки функционирования системы поддержки принятия решений.

Данные сравнительной оценки результатов, полученные СППР₁ в ходе вычислительного эксперимента, с принятыми руководителем тушения пожаров решениями, приведены в табл. 6.

5. Математические основы построения экспертной модели при расплывчатости границ между смежными рангами пожара

Приведем краткий обзор основных положений теории нечетких множеств, изложенных в трудах [31, 133, 134] основоположника данной теории Л. Заде, а также в работах других авторов [14, 47, 122]. Данные понятия, положения и определения будут в дальнейшем использоваться нами при построении моделей определения ранга пожара.

Расплывчатость (нечёткость) имеет место при отнесении объекта (предмета, параметра, переменной и т.д.) к некоторому классу в том случае, когда последний характеризуется качественной оценкой альтернатив [31, 47, 122, 134]. Например, при решении задачи определения ранга пожара таким объектом является площадь пожара, которая выражается в следующих оценках: "малая", "средняя", "большая".

В математике нечеткость используется также при формулировании бинарного отношения "приблизительно равно ($\approx$)", когда источником расплывчатой неопределенности является неполное обладание объектом некоторых свойств. Формализация таких нечётких понятий обеспечивается введением лингвистической и нечеткой переменных, нечетких множеств [30].

Согласно [63, 122], нечеткое множество – это математическая модель класса с нечеткими, или, иначе говоря, размытыми границами. В этом понятии учитывается возможность постепенного перехода от принадлежности к непринадлежности элемента множеству. Рассматриваемые элементы характеризуются различной степенью принадлежности μ множеству - между полной принадлежностью "1" и полной непринадлежностью "0", т. е. $\mu \in [0, 1]$. В качестве примера можно привести границу между положительными и отрицательными числами. Поскольку нуль можно отнести как к положительным, так и отрицательным числам, то если положить $\mu_R(0) = 1/2$, множество R положительных чисел становится нечетким (размытым).

С математической точки зрения, нечеткое множество A можно представить совокупностью пар вида $[u, \mu_A(u)]$, где $u \in U$. Здесь U – некоторое множество (в обычном смысле) элементов, которое называется универ-

сальным множеством, а $\mu_A(u)$ – это так называемая функция принадлежности, определяющая степень принадлежности элемента $u \in U$ к нечеткому множеству A [31]. Нечеткое множество можно записать следующим образом:

$$A = \bigcup_{u \in U} \mu_A(u) / u. \quad (10)$$

Например, если элементы $u = (a, b, c)$, а $\mu_A(u) = (0, 0.5, 1)$, то A можно представить как $A = (0/a, 0.5/b, 1/c)$.

Отметим, что несмотря на сходство, функция принадлежности $\mu_A(u)$ и вероятность $p(x)$, имеющие одну и ту же область значений $[0,1]$, существенно отличны по способу их определения. Поэтому, в отличие от вероятности $p(x)$, функцию $\mu_A(u)$ с учетом её происхождения называют возможностью элемента [74].

Целью введения нечеткого множества чаще всего является формализация нечетких понятий и отношений естественного языка. Данную формализацию можно выполнить, воспользовавшись нечеткой и лингвистической переменными.

Нечеткой переменной называют кортеж вида $\langle X, U, X_u \rangle$, где:

X - наименование нечеткой переменной;

$U = \{u\}$ - область ее определения (обычное множество);

$X_u = \bigcup \mu_x(u) / u$ – нечеткое множество на U , описывающее ограничения на возможные числовые значения нечеткой переменной X .

Лингвистической переменной называется кортеж вида (β, T, U, G, S) , где:

β - наименование лингвистической переменной;

T - множество ее значений (термов), представляющих собой наименование нечетких переменных, областью определения каждой из которых является множество U ;

G - синтаксическая процедура, описывающая процесс образования из множества T новых, осмысленных для данной задачи значений лингвистической переменной;

S - семантическая процедура, позволяющая приписать каждому новому значению, образованному процедурой G , некоторую семантику, путем формирования соответствующего нечеткого множества, т.е. отобразить новое значение в нечеткую переменную [14].

Для лингвистической переменной $(\beta; T; U; G; S)$, представленной на рис. 3. множество $T = \{T_1, T_2, T_3\}$ является базовым терм-множеством лингвистической переменной, а пары обычного множества $U = \{[u_0, u_1]; [u_2, u_3]; [u_4, u_5]\}$ образуют границы нечеткой переменной. Приведем для иллюстрации следующий пример из области деятельности пожарной охраны.

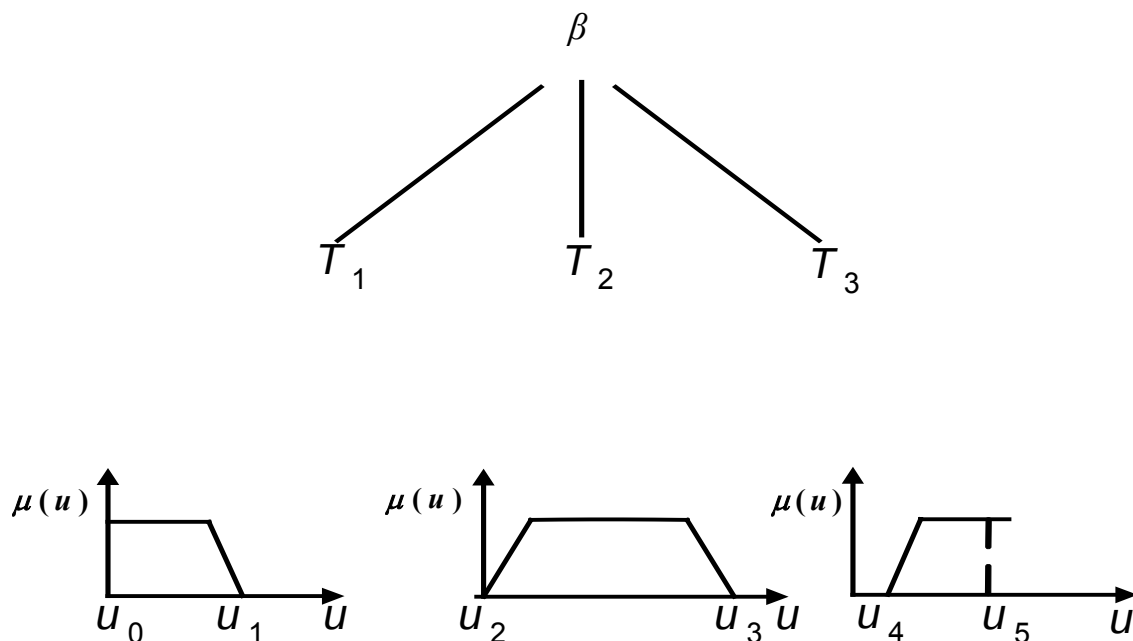


Рис. 3. Взаимосвязь лингвистической и нечеткой переменных

Пусть β – скорость распространения пламени в помещении. Тогда кортеж $(T; G; S)$ "скорость распространения пламени" в терминах лингвистической переменной записывается как ("малая", "средняя", "большая"; $G; M$) где:

G - процедура перебора элементов базового терм-множества;

S - процедура экспертного опроса.

В зависимости от характера множества U , лингвистические переменные делятся на числовые и нечисловые.

Числовой называется лингвистическая переменная, у которой $U \subset R$, где $R = (-\infty, \infty)$. Нечеткие переменные, соответствующие значениям числовой лингвистической переменной, называются нечеткими числами [14].

Таким образом, скорость распространения пламени - это числовая лингвистическая переменная, при этом нечеткие переменные из ее терм-множеств являются нечеткими числами $(u / \mu_A(u))$.

В качестве примера нечисловой лингвистической переменной можно привести понятие "сложность" со значениями: "низкая", "средняя", "умеренная", "высокая".

Рассмотрим характеристики простых отношений между нечеткими переменными.

Приведем пример словесного описания зависимости между двумя

обычными числовыми переменными X и Y набором высказываний. Например: если x равно 2, то y равно 11, и т. д. Аналогичный способ описания применяется и для нечетких переменных [4]. В частности, если X и Y - лингвистические переменные, то высказывания, описывающие зависимость Y от X , выглядят следующим образом: *если X мало, то Y очень велико; если X не очень мало, то Y очень велико; если X не мало, то Y не очень велико* и т.п.

Отметим, что структура лингвистической переменной представляет сложный термин, то есть является сочетанием некоторых элементарных терминов. Согласно [14, 47, 122, 134], эти элементарные термины можно разбить на четыре основные категории:

- первичные термины, которые являются символами специальных нечетких подмножеств, например *низкая, высокая* плотность задымления здания и т.д.;

- отрицание *НЕ* и союзы *И, ИЛИ*;

- неопределенности типа *очень, слабо, более или менее* и т.д.;

- маркеры, чаще всего это вводные слова (*весьма*).

Отрицание *НЕ*, союзы *И, ИЛИ*, неопределенности типа *очень, весьма, больше, меньше* и другие термины, которые входят в определение значений лингвистических переменных, могут рассматриваться как символы различных операций, определенных на нечетких подмножествах U .

Рассмотрим наиболее существенные из этих операций, таких как: объединение, пересечение, дополнение, алгебраическая сумма, разность, декартово произведение [4, 14, 30, 31, 47, 63, 122, 133, 134].

Обычно вводятся два набора определений основных операций над нечеткими множествами - максиминный (*mm*) и вероятностный (*p*) [47].

Пусть A и B - нечеткие множества. Объединением нечетких множеств A и B в U называется нечеткое множество $A \cup B$ с функцией принадлежности вида:

$$\mu_{A \cup B} = \max [\mu_A(u), \mu_B(u)], u \in U - (mm), \quad (11)$$

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) \cdot \mu_B(u), u \in U - (p). \quad (12)$$

Объединение соответствует союзу *ИЛИ*. Таким образом, если X и Y символы нечетких множеств, то:

$$(X \text{ или } Y) = X \cup Y. \quad (13)$$

Пересечением нечетких множеств A и B в U называется нечеткое множество $A \cap B$ с функцией принадлежности вида:

$$\mu_{A \cap B} = \min [\mu_A(u), \mu_B(u)], u \in U - (m), \quad (14)$$

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A(u) \cdot \mu_B(u), u \in U - (p). \quad (15)$$

Пересечение соответствует союзу И:

$$(X \text{ и } Y) = X \cap Y. \quad (16)$$

Дополнением нечеткого множества A называется нечеткое множество A^- с функцией принадлежности:

$$\mu_{A^-}(u) = 1 - \mu_A(u), u \in U - (m, p). \quad (17)$$

Операция дополнения соответствует отрицанию НЕ:

$$(\text{не } X) = X^- = 1 - \mu_X(x) / x. \quad (18)$$

Алгебраическая сумма нечетких множеств A и B определяется операцией сложения с функцией принадлежности вида:

$$\mu_{A+B} = \mu_A(u) + \mu_B(u), u \in U. \quad (19)$$

Разность нечетких множеств A и B определяется введением двух независимых операций:

$$\mu_{A-B} = \mu_A(u) - \mu_B(u), \text{ если } \mu_A(u) \geq \mu_B(u), u \in U, \quad (20)$$

$$\mu_{A-B} = 0, \text{ если } \mu_A(u) < \mu_B(u), u \in U. \quad (21)$$

Декартово произведение $A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n$ нечетких множеств A_i в U_i , $i = \overline{1, n}$ определяется как нечеткое множество A в декартовом произведении $U = U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n$, с функцией принадлежности вида:

$$\mu_A(u) = \min [\mu_{A_1}(u), \dots, \mu_{A_n}(u)], u = (u_1, \dots, u_n) \in U. \quad (22)$$

В дальнейшем из представленных выше операций над нечеткими множествами при решении задачи определения ранга пожара нами будет использована алгебраическая сумма функций принадлежности.

Рассмотрим особенности процедуры формализации качественных и количественных параметров для решения задачи выбора при расплывчатой

неопределенности, применительно к нашему случаю.

Источником формирования функции принадлежности $\mu_{ml} = \mu_l(q_m)$ численных значений q_m параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$ к l -му рангу является эксперт, т. е. руководитель тушения пожара. Пользуясь своими представлениями о предметной области и практическим опытом, эксперт сопоставляет словам естественного языка их количественное выражение с помощью функции принадлежности. Экспертами также определяются способы представления функций принадлежности.

К применяемым методам опроса экспертов, в соответствии с выбранным способом представления функций принадлежности, относятся [31, 47, 118, 122]:

- индивидуальное измерение в интервале $[0,1]$;
- индивидуальное определение значения по шкале, являющейся совокупностью нечетких точек;
- формирование элемента шкалы в виде треугольной, трапециевидной, колоколообразной формы, либо заданием определенной аналитической функцией и т. п.

В процессе построения функций принадлежности эксперты осуществляют следующую последовательность действий [118]:

1. Подбор параметра.
2. Определение диапазона изменения параметра.
3. Подбор количества элементов шкалы (элементов терм - множества).
4. Формирование и упорядочение элементов терм - множества.
5. Определение интервалов крайних оценок.
6. Определение максимальных значений в интервалах. Максимальное значение в интервалах в зависимости от способа представления точек в виде треугольника или трапеции может быть характеризовано соответственно одной или двумя величинами.
7. Построение шкалы.

Наиболее удобным способом представления функции принадлежности является аксиоматический [31, 134]. Роль аксиом играет форма функции. Как было отмечено выше, основными формами функции принадлежности являются: трапециевидная, треугольная, колоколообразная. В задачу эксперта входит выбор формы функции и задание её параметров.

В результате проведенных нами экспериментальных исследований было установлено, что для формализации параметров, влияющих на определение ранга пожара и выявления с достаточной степенью полноты исследуемых свойств объекта классификации, наиболее подходящей формой для задания функции принадлежности μ_{ml} , отражающей размытость границ оценки при решении задачи определения ранга пожара, является трапециевидная.

6. Определение ранга пожара методом экспертной классификации с применением математического аппарата теории нечетких множеств

Рассмотрим математическую модель для решения задачи определения ранга пожара с применением нечетких множеств. Основные идеи предлагаемого подхода изложены в работе [42].

Классифицируемый объект может иметь бесконечное, либо конечное множество свойств (рангов пожара P_l), характеризующихся конечной совокупностью параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$. Задача заключается в оценивании объекта значениями некоторой лингвистической переменной, или иными словами, выбора одного из её значений для фиксированного состояния объекта. При установлении оценки необходимо учитывать расплывчатость границ между соседними классами состояний, обусловленную ненулевой степенью принадлежности объекта двум соседним классам.

В работе [42] нами предлагается следующий алгоритм построения экспертной модели классификации объекта на основе математического аппарата теории нечетких множеств.

Последовательность на первоначальном этапе построения рассматриваемой экспертной модели аналогична действиям, выполняемым при построении модели экспертной классификации, предложенной ранее.

Построение модели начинается с определения экспертами совокупности параметров $Q = \{Q_1, \dots, Q_m, \dots, Q_M\}$, влияющих на установление ранга пожара P_l .

Далее, для учета важности параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$ при оценивании объекта, каждому из них сопоставляется весовой коэффициент α_m , пропорциональный вкладу параметра Q_m в оценку состояния объекта, т. е. определяются степени влияния рассматриваемых параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$ на ранг пожара P_l . Если в задаче определения ранга пожара содержится небольшое число параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$, то весовые коэффициенты α_m можно распределить непосредственно на основе оценки, данной экспертами, но если же число параметров велико и распределение весовых коэффициентов α_m между параметрами $Q_m, m = \overline{1, M}$ неочевидно, воспользуемся методом парных сравнений, изложенным во второй главе.

При определении весовых коэффициентов α_m параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$ должно соблюдаться условие нормировки (1).

Сравнение между собой значимости параметров Q_k и Q_n для каждой их пары и определение предпочтений P_{kn} и P_{nk} проводится с помощью оценок

экспертов на основе парных отношений, приведенных в табл. 2.

При сравнении параметров, в каждом парном отношении, должно выполняться условие (2).

Далее, для определения весовых коэффициентов α_m параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$, влияющих на установление ранга пожара, составляется матрица парных сравнений, которая представлена в виде табл. 3. На основе данных, полученных от экспертов, выполняется расчет весовых коэффициентов α_m по формулам, приведенным в двух последних столбцах табл. 3.

Затем, после расчета весовых коэффициентов α_m , для каждого параметра Q_m определяется совокупность значений лингвистической переменной - ранга пожара $P = \{P_1, \dots, P_l, \dots, P_L\}$, применяемой для оценки объекта.

На следующем этапе диапазон значений каждого параметра Q_m , характеризующего объект, делится на L классов значений. При этом l -му классу ставится в соответствие значение лингвистической переменной, определяемой функцией принадлежности μ_{ml} , т.е. присваиваются значения лингвистической переменной по каждому параметру Q_m и для каждого ранга пожара $P_l, l = \overline{1, L}$.

Как было отмечено в предыдущем разделе, наиболее удобной формой функции принадлежности, отражающей размытость границ оценки и позволяющей выявить всю полноту свойств объекта классификации, является трапеция. Горизонтальная часть (верхнее основание) трапеции характеризует стопроцентную принадлежность объекта l -ой оценки по m -му параметру, а наклонные части (ребра) трапеции характеризуют степень принадлежности объекта классификации к двум смежным оценкам (рангам пожара) с различной возможностью.

Далее, задаётся решающее правило классификации, позволяющее установить меру принадлежности объекта l -му классу.

В качестве решающего правила нами в работе [42] предложено использовать алгебраическую сумму функций принадлежности μ_{ml} по всем параметрам. Для учета вклада m -го параметра, $m = \overline{1, M}$, в оценку объекта функция μ_{ml} умножается на вес α_m . С учетом изложенного, правило классификации имеет вид:

$$arg(P_l) = \sum_{m=1}^M \alpha_m \cdot \mu_{ml}. \quad (23)$$

При решении задачи определения ранга пожара для каждого ранга $P_l, l = \overline{1, L}$ находятся значения функций принадлежности параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$, влияющих на установление ранга пожара, т.е. для l -й оценки

по m -му параметру вычисляется значение функции μ_{ml} . С учетом линейности трапецевидной формы, функция μ_{ml} определяется следующим образом:

$$\mu_{ml} = \frac{q - q_{mn}}{q_{mk} - q_{mn}} \cdot (\mu_{mk} - \mu_{mn}) + \mu_{mn}. \quad (24)$$

Здесь q_{mn} , μ_{mn} , q_{mk} , μ_{mk} – начальные и конечные значения параметра Q_m и функции μ_{ml} для l -го интервала.

На границах интервала функция принимает значения: "0", либо "1". Отсюда, разность $\mu_{mk} - \mu_{mn}$ принимает следующие значения:

$$\mu_{mk} - \mu_{mn} = \begin{cases} 0 & \text{– для горизонтальной части трапеции} \\ +1 & \text{– для левой части трапеции} \\ -1 & \text{– для правой части трапеции} \end{cases}$$



Рис. 4. Области размытости функции μ трапецевидной формы

На заключительном этапе вычисляются суммарные значения оценок параметров Q_m , $m = \overline{1, M}$ для каждого ранга P_l согласно (23). После сравнения полученных значений $\arg(P_l)$ находится максимум ($\arg(P_l) \rightarrow \max$), на основании чего делается вывод о принадлежности совокупности признаков к определенному рангу P_l .

На основе полученных результатов, при необходимости производится соответствующая корректировка весовых коэффициентов α_m и шкалы функций принадлежности, с целью того, чтобы добиться наибольшего совпадения расчетных значений ранга пожара с реальными.

Последовательность действий при решении задачи определения ранга пожара можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 5). Используя предложенный алгоритм, можно решать задачу определения ранга пожара для любых объектов.

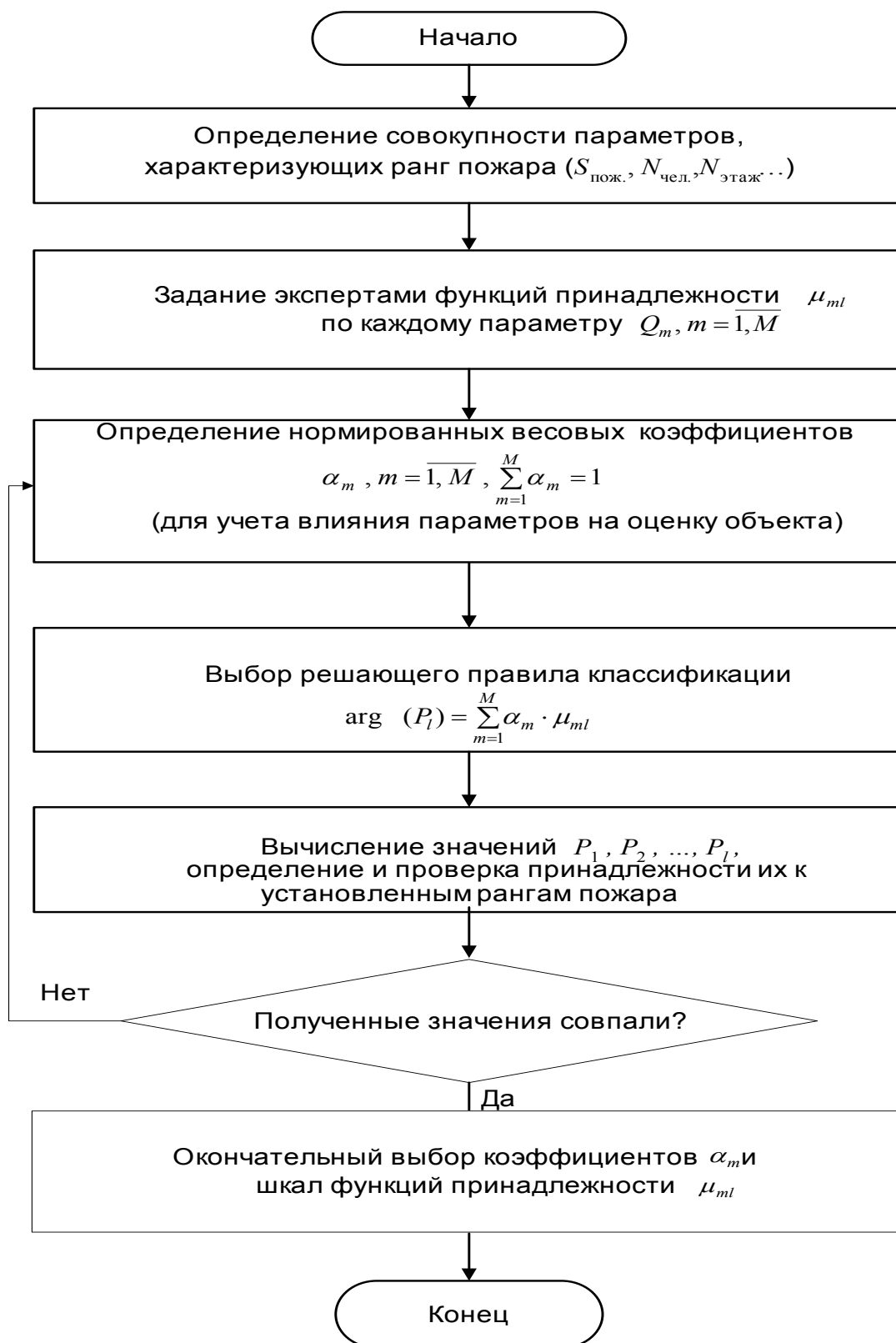


Рис. 5. Блок-схема алгоритма определения ранга пожара

Изменяться в данном алгоритме будет только количественный и качественный состав параметров, влияющих на установление ранга пожара, для какой-либо конкретной группы объектов. Все эти изменения учитываются в процессе формализации параметров на этапе разработки системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара, с учетом рекомендаций, полученных от экспертов.

В заключение следует отметить достоинства и недостатки предложенного метода решения задачи определения ранга пожара. Применение данного метода позволяет повысить точность решения задачи определения ранга пожара, поскольку учитывается расплывчатость границ между смежными классами состояний (рангами пожара), т. е. возможная принадлежность объекта различным классам по каждому параметру. При этом количество терм-множеств, на основе которых строятся математические модели, неограниченно, так как увеличение их числа не вызывает у экспертов и специалистов из аналитической группы существенных затруднений.

Однако следует отметить, что данный метод решения задачи менее универсален в сравнении с методом, предложенным выше, что обусловлено отсутствием возможности формализации дискретно представленных параметров в виде терм-множеств.

7. Апробация методологии

Для экспериментальной оценки системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара получены данные от экспертов, т.е. руководителей тушения пожара.

В СППР, построенной на основе метода экспертной классификации с применением теории нечетких множеств (далее СППР₂), использованы следующие параметры, влияющие на установление ранга пожара:

Q_1 – площадь пожара;

Q_2 – этаж, на котором произошел пожар;

Q_3 – количество человек;

Q_4 – пожарная нагрузка в горящем здании.

На рис. 6 представлены функции принадлежности параметров, влияющих на установление ранга пожара, которые построены на основе оценок, полученных от экспертов, и используются в разработанной модели системы поддержки принятия решений.

Интерфейсы программы (СППР₂) представлен на рис. 7, рис. 8.

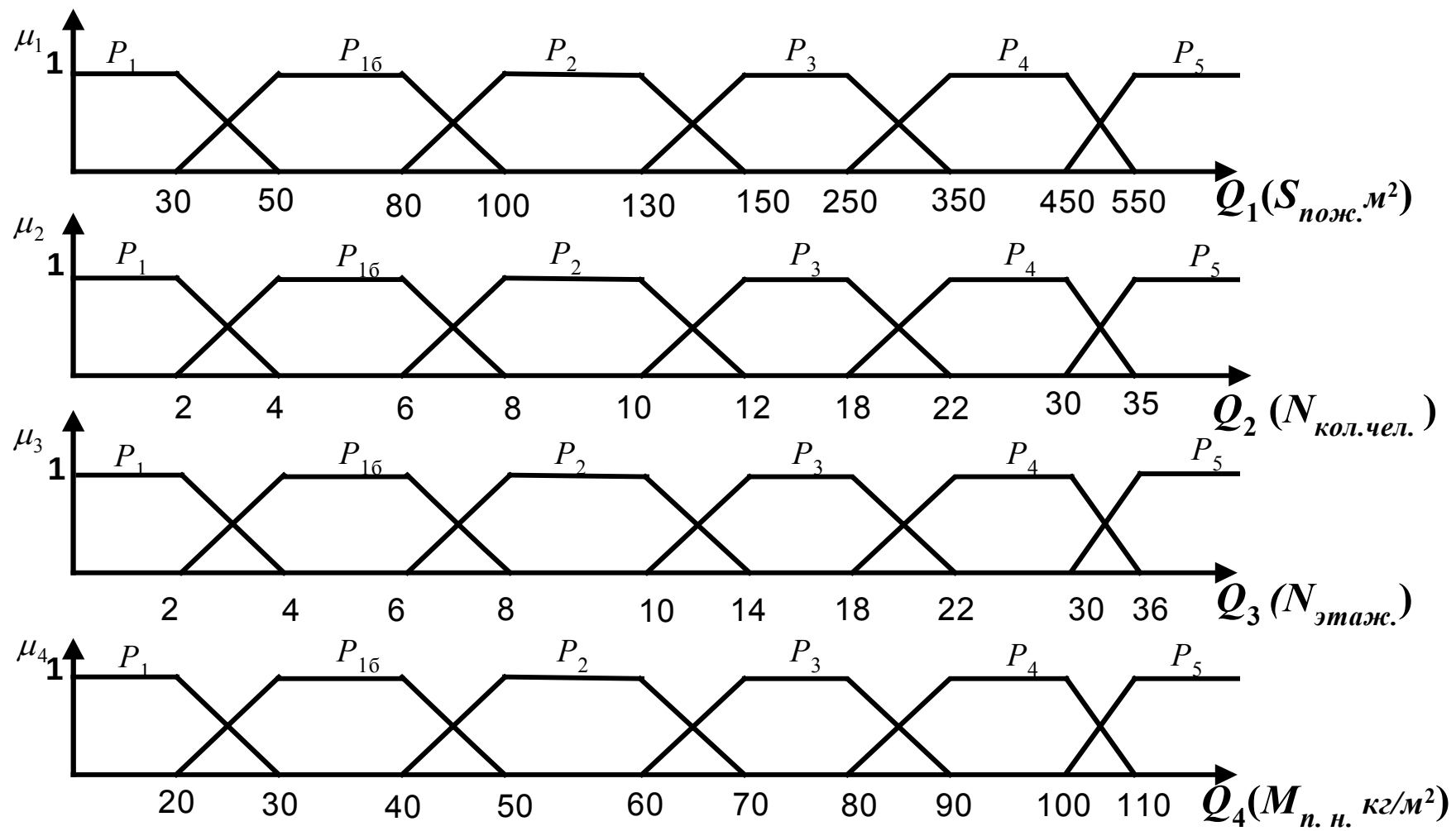


Рис. 6. Функции принадлежности параметров, влияющих на установление ранга пожара

7' Определение ранга пожара

Данные по объекту

Площадь пожара, м2: Учитывать параметр? (да/нет) ☒

Количество человек: ☒

Номер этажа: ☒

Пожарная нагрузка, кг/м2: ☒

Промежуточные результаты:

```

nu(1,1)=1,000
nu(1,2)=1,000
nu(1,3)=1,000
nu(1,4)=1,000
P(1)=0,900
nu(2,1)=0,000
nu(2,2)=0,000
nu(2,3)=0,000
nu(2,4)=0,000
P(2)=0,000
nu(3,1)=0,000
nu(3,2)=0,000
nu(3,3)=0,000

```

Ранг пожара: 1

Рис. 7. Вид диалогового окна программы "Определение ранга пожара в административных и жилых зданиях" (СППР₂)

7' Параметры модели

Номер этажа | Пожарная нагрузка
Площадь пожара, м2 | Количество человек

Значимость признаков:

Площадь пожара, м2: $a_1 = 0,5 \times 10^{-1}$

Количество человек: $a_2 = 0,3 \times 10^{-1}$

Номер этажа: $a_3 = 0,15 \times 10^{-1}$

Пожарная нагрузка, кг/м2: $a_4 = 0,05 \times 10^{-1}$

Выход

Параметры модели:

$y_1 = 30$

$y_2 = 50$

$y_3 = 80$

$y_4 = 100$

$y_5 = 120$

$y_6 = 150$

$y_7 = 200$

$y_8 = 250$

$y_9 = 350$

$y_{10} = 400$

Рис. 8. Вид диалогового окна настройки параметров модели

Для экспериментальной оценки функционирования систем поддержки принятия решений, полученные в процессе экспертного опроса руководителей тушения пожара оценки, введены в базу данных программы.

Всего нами совместно с группой экспертов из одиннадцати РТП было рассмотрено 16 пожаров, описание которых содержится в следующих источниках статистических данных: "Доклад по оперативной обстановке с пожарами в Российской Федерации" за 2002-2004 годы; "Список пожаров и ЧС в Ростовской области" за 2004 год.

Данные сравнительной оценки результатов, полученные СППР₁ и СППР₂ в ходе вычислительного эксперимента, с принятыми руководителями тушения пожаров решениями, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Экспериментальная оценка систем поддержки принятия решений
по определению ранга пожара в жилых и административных зданиях

№ п/п	Описание пожара	Ранг пожара (P_k)		
		РТП	СППР ₁	СППР ₂
1	2	3	4	5
1	Дата: 6.5.2004 время: 14:22. г. РОСТОВ-НА-ДОНУ Адрес: ул. Развиленская д. 46. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом стены деревянные, кровля шиферная. Размеры помещения (здания): 12X5 м. Площадь горения: 60 м ² . Силы и средства: 11 ПЧ - 1 АЦ, 3 СЧ - 1 АЦ, 1 ПЧ - 1 АЦ, 104 ПЧ - 2 АЦ; 3 Ств. Б.	1	1	1
2	Дата: 17.5.2004 время: 14:44. г. РОСТОВ-НА-ДОНУ Адрес: ул. Серафимовича д. 90. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом 16X5 м стены кирпичные, кровля шиферная, 1 эт. жилой дом 15X10 м стены кирпичные, кровля шиферная, 1 эт. жилой дом 11X7 м стены кирпичные, кровля шиферная. Площадь горения: кровля 150 м ² , кровля 80 м ² , мебель 45 м ² , кровля 2 м ² . Силы и средства: 7 АЦ, 1 АЛ; 7 Ств. Б. Работало 1 звено ГДЗС 30 мин. Число погибших: 1 человек	2	3	3

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
3	Дата: 17.5.2004 время: 22:06. г. РОСТОВ-НА-ДОНУ Адрес: пер. Выгодский д. 5. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом стены кирпичные, кровля шиферная. Размеры помещения (здания): 8X4 м. Площадь горения: 47 м ² . Силы и средства: 3 СЧ-2 АЦ, 104 ПЧ-2 АЦ; 2 Ств.Б.	1	1	1
4	Дата: 6.6.2004 время: 01:45. г. ГУКОВО РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ Адрес: пер. Гвардейский д. 17. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом, стены кирпичные, кровля шиферная. Размеры помещения (здания): 20X10 м. Площадь горения: 150 м ² . Силы и средства: 32 ПЧ-2 АЦ, 100 ПЧ-2 АЦ, 87 ПЧ-1 АЦ; 5 Ств. Б. Спасено 2 человека.	2	3	3
5	Дата: 7.6.2004 время: 02:25. г. ШАХТЫ РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ Адрес: ул. Артема д. 1. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом, стены кирпичные, кровля шиферная, блок хоз. построек деревянный 20X10 м, кровля шифер- ная. Размеры помещения (здания): 30X8 м. Площадь горения: 210 м ² . Силы и средства: 6 АЦ; 4 Ств. Б. Работало 1 звено ГДЗС 15 мин.	2	3	3
6	Дата: 19.02.2002 время: 00:35. п. УРАЛЬСКИЙ ПЕРМСКАЯ ОБЛАСТЬ Характеристика сооружения: 1 эт. жилой 15 комнатный дом, стены деревянные, кровля ши- ферная. Размеры помещения (здания): 24X10 м. Площадь горения: 210 м ² . Силы и средства: 7 АЦ; 3 Ств. Б, 5 Ств. А. Число погибших: 6 человек.	2	3	3

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
7	Дата: 22.08.2002 время: 19:49. г. АРМАВИР КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ Адрес: ул. Буденного д. 73. Характеристика сооружения: 1 эт. жилой дом, стены деревянные, кровля металлическая по обрешетке. Размеры помещения (здания): 10X12 м. Площадь горения: 100 м². Силы и средства: 5 АЦ; 1 Ств. Б, 3 Ств. А.	2	2	2
8	Дата: 21.10.2002 время: 4:58. г. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ МОСКОВСКАЯ ОБЛ. Адрес: ул. Новая д. 6 "А". Характеристика сооружения: 2 эт. общежитие, стены кирпичные, перекрытия и перегородки деревянные, кровля шиферная по деревянной обрешетке. Размеры помещения (здания): 60X18 м. Площадь горения: 2000 м². Силы и средства: 12 АЦ, 1 АГДЗС, 1 АР-2; 6 Ств. Б, 3 Ств. А. Погибло: 4 человека. Пострадало: 6 человек (с ожогами 2-3 степеней).	3	3	3
9	Дата: 24.01.2004 время: 5:18. г. ПЕТРОЗАВОДСК Адрес: ул. Калинина д. 4. Характеристика сооружения: 2 эт. административное здание, 5 С.О., брусчатое, обшито облицовочной доской. Общая площадь здания 1018 м². Площадь горения: 390 м². Силы и средства: 10 АЦ, 2 АЛ, АГДЗС, АР, АШ; 7 Ств. Б, 3 Ств. А, 2 ПЛС 20. Работало 9 звеньев ГДЗС. Погибло: 5 человек.	3	3	3
10	Дата: 24.01.2004 время: 01:22. г. ХАБАРОВСК Адрес: ул. Краснореченская д. 57. Характеристика сооружения: 80 квартирный, 5 эт. жилой дом, 3 С.О., размером в плане (12X60), стены кирпичные перекрытия железобетонные, перегородки деревянные оштукатуренные. Площадь горения: 32 м². Силы и средства: 3 АЦ, 1 АЛ; 2 Ств. Б. Работало 2 звена ГДЗС.	2	1	1

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
11	Дата: 26.09.2002 время: 20:07. г. ВОЛОГДА Адрес: ул. Пушкинская д. 22. Характеристика сооружения: 5 эт. административное здание, 2 С.О., стены и перегородки кирпичные перекрытия железобетонные. Размеры помещения (здания): 37 X 68 м Площадь горения: 15 м² на 4-м этаже. Силы и средства: 6 АЦ, АСО, АЛ-30; 1 Ств. Б. Работало 2 звена. ГДЗС.	2	1	1
12	Дата: 22.03.2004 время: 9:21. г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ. Адрес: ул. Рыбаков д. 13. Характеристика сооружения: 5 эт. административное здание, железобетонное, оборудовано пожарной сигнализацией. Размеры помещения (здания): 40 X 60 м. Площадь горения: 1,5 м² на 4-м этаже. Силы и средства: 7 АЦ, 3 АЛ, 1 АШ; 1 Ств. Б. Работало 2 звена ГДЗС.	2	1	1
13	Дата: 16.12.2002 время: 5:40. г. ПЕРМЬ Адрес: пер. Подлесной д. 47. Характеристика сооружения: 4 эт. административное здание с цокольным этажом, стены кирпичные, перекрытия железобетонные. Размеры помещения (здания): 42X82 м Площадь горения: 33 м² на 1-м этаже. Силы и средства: 8 АЦ, 3 АЛ, 1 АШ; 2 Ств. Б. Работало 4 звена ГДЗС. Погиб 1 человек.	2	1	1
14	Дата: 16.12.2002 время: 0:54. г. ВОЛГОГРАД Адрес: ул. Советская д. 11. Характеристика сооружения: 4 эт. жилой дом, стены кирпичные, перекрытия железобетонные, кровля металлическая и шиферная по деревянной обрешетке. Размеры помещения (здания): 30X60 м. Площадь горения: 300 м² на 4-м этаже. Силы и средства: 9 АЦ, 3 АЛ, АСО, АГДЗС, АР, АШ; 3 Ств. Б, 4 Ств. А. Спасено 120 человек.	3	3	3

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
15	Дата: 6.01.2003 время: 20:54. г. СТАВРОПОЛЬ Адрес: ул. 45-я параллель д. 17. Характеристика сооружения: 3 эт. жилой дом, стены и перегородки кирпичные, перекрытия железобетонные, кровля шиферная по деревянной обрешетке. Размеры помещения (здания): 25X16 м. Площадь горения: 250 м ² . Силы и средства: 7 АЦ, 1 АЛ, 1 АШ; 3 Ств. Б, 3 Ств. А.	2	3	3
16	Дата: 27.01.2003 время: 22:13. г. ВЛАДИВОСТОК Адрес: ул. 50-лет ВЛКСМ д. 30. Характеристика сооружения: 10 эт. жилой дом, стены и перегородки железобетонные, перекрытия железобетонные. Размеры помещения (здания): 25X16 м Площадь горения: 76 м ² 5, 6, 7 этаж. Силы и средства: 10 АЦ, 4 АЛ, 1 АСО, 1 АГДЗС; 5 Ств. Б. Работало 5 звеньев ГДЗС.	3	2	2

В большинстве случаев решения, принятые РТП, совпали с полученными результатами вычислений СППР₁ и СППР₂, а в некоторых случаях системы определили ранг пожара точнее, нежели руководители тушения пожара.

Так в 11-м, 12-м и 13-м случаях руководители тушения пожара определили 2-й ранг, а СППР₁ и СППР₂ - 1-й ранг пожара. Здесь видна явная ошибка РТП при определении необходимого числа пожарных подразделений. Эту ошибку можно объяснить тем, что прибыв на место пожара, руководители столкнулись с такими факторами, как сильное задымлением зданий, наличие людей в зданиях и тем обстоятельством, что здания принадлежат государственным учреждениям. Однако, в процессе тушения выяснилось, что силы и средства необходимые для ликвидации горения, достаточно было бы привлечь по первому номеру.

Во 2-м, 4-м, 5-м, 6-м случаях руководители тушения пожара определили 2-й ранг, а СППР₁ и СППР₂ - 3-й ранг. Это расхождение в определении необходимых сил и средств можно объяснить тем, что, хотя площади пожара были значительными и существовала угроза жизни людей, но пожары происходили в отдельно стоящих одноэтажных домах, в результате чего вероятность распространения огня на соседние объекты была минимальной. Очаги горения были локализованы в пределах домов, охваченных

огнем, но в результате дома полностью были уничтожены, при этом среди людей были пострадавшие с ожогами различной степени и погибшие, т. е. в данных случаях нужно было привлечь силы и средства по третьему номеру.

В 16-м случае руководитель тушения пожара определил 3-й ранг, а СППР₁ и СППР₂ - 2-й ранг. В данном случае РТП правильно определил ранг пожара, так очаг пожара был расположен на трех этажах жилого десятиэтажного дома и было сильное задымление лестничных клеток и коридоров, огонь грозил перекрыть пути эвакуации для жильцов. Основные силы и средства в данном случае были направлены на эвакуацию и спасение людей. Системы поддержки принятия решений определили второй ранг, так как площадь горения была незначительной и составляла 76 м².

На основании анализа данных, представленных в табл. 6, можно сделать вывод, что в целом системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара имеют достаточно высокую эффективность.

Однако следует отметить, что для более точного определения ранга пожара в системах поддержки принятия решений при дальнейшей их модификации совокупность учитываемых параметров, влияющих на установление ранга пожара должна быть дополнена на основе углубленного анализа оперативно-тактической характеристики объектов.

Для практического применения можно использовать две разработанные математические модели для определения ранга пожара при построении СППР.

В случае, когда все параметры можно формализовать в виде термножеств, рекомендуется использовать для построения СППР модель, основанную на теории нечетких множеств.

В том случае, когда для решения задачи будут отобраны параметры, которые нельзя формализовать в виде термножеств, для построения СППР предлагается использовать математическую модель определения ранга пожара методом экспертной классификации.

8. Определение ранга пожара по диаграммам состояния объекта

Наглядное графическое представление о принадлежности текущего состояния объекта (горящего здания) к определяемым в решаемой задаче областям (рангам пожара) и о динамике развития пожара позволяет осуществить предложенный нами в работе [104] метод построения диаграмм состояний исследуемого объекта в многомерном пространстве его параметров.

По результатам численной обработки массива первичных данных, по-

лученных методом экспертных оценок, для каждого из рассматриваемых по отдельности параметров Q_m производится определение функции принадлежности μ . Однако следует отметить, что увеличение порядка аппроксимации, приводит к необходимости выбора более сложной формы для μ_{ml} , в результате чего они должны трансформироваться в кусочно-гладкие функции n -го порядка (т.е. с непрерывной производной n -го порядка, существующей во всей области определения функции). В нашей модели используются кусочно-линейные функций принадлежности μ_{ml} , однако нами учитывается то обстоятельство, что существуют некоторые функции принадлежности (назовем их "истинными" функциями принадлежности), которые должны иметь непрерывные производные от параметра (по крайней мере, производную первого порядка).

В работе [104] нами проведено обобщение понятия функции принадлежности μ_{ml} , и сделан вывод о возможности задания многомерных функций принадлежности μ_l от всех параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$, влияющих на установление ранга пожара. Определим эти функции как обобщенные функции принадлежности $\mu_l(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ от совокупности параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$.

Для задания многомерных обобщенных функций принадлежности $\mu_l(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ воспользуемся разработанным нами методом, основанным на общей методике [26, 48] построении диаграмм состояния систем для многомерных пространств их параметров.

Рассмотрим многомерное пространство – "*пространство состояний* $X + Y$ " (размерности $m + n$), где m - число учитываемых параметров (обозначим их совокупность как подпространство X), а n - число рассматриваемых свойств (обозначим их совокупность как подпространство Y). В модели мы ограничиваемся рассмотрением одного свойства – ранг пожара, поэтому подпространство Y имеет размерность $n = 1$.

Точка F в этом пространстве с координатами $(X_{(F)}, Y_{(F)})$ указывает как условия $X_{(F)}$, в которых находится система, так и количественные характеристики ее свойств $Y_{(F)}$. Такую точку назовем "*представительной точкой*" системы в пространстве "условия-свойства" ($X + Y$). В эквивалентной формулировке можно рассматривать "*вектор состояния*" системы OF , проведенный из точки начала координат O в точку M с теми же координатами $(X_{(F)}, Y_{(F)})$ в пространстве "условия-свойства" векторов состояний. Рассматривая проекцию точки F в подпространстве X , определим "*вектор состояния*" в пространстве "условий" (параметров) с координатами $X_{(F)}$. При изменении параметров во времени проекция "представительной точки" также изменяет свое положение в пространстве "условий" X , образуя некоторую траекторию $X_F(t)$ или "путь в пространстве парамет-

ров", описывающий динамику развития системы. При движении вдоль некоторого участка "пути" в пространстве X проекции представительной точки свойство системы (в нашем случае - ранг пожара) остается без изменения. Но возможен другой вариант – когда в некоторой точке $X_F(t) = X_{Fc}$ свойство системы изменяется скачкообразно (происходит изменение ранга пожара). Критические значения параметров, характеризуемые точкой X_{Fc} , назовем условиями изменения ранга.

Рассмотрим две траектории $X_F^1(t)$ и $X_F^2(t)$. Если $X_F^1(t)$ и $X_F^2(t)$ достаточно близки друг к другу, то по принципу непрерывности, при существовании X_{Fc}^1 (критическая точка на первой траектории) должна существовать и X_{Fc}^2 (критическая точка на второй траектории), причем значения X_{Fc}^1, X_{Fc}^2 тоже близко расположены в пространстве параметров X . Если рассмотреть всю совокупность возможных близко расположенных траекторий $\{X_F(t)\}$, то совокупность точек $\{X_{Fc}\}$ образует поверхность σ_c (подпространство размерности $M - 1$), которая разделяет некоторую область пространства X на две части, каждой из которой соответствует определенный ранг пожара. Пространство X вместе с совокупностью всех $\sigma_{c(i-j)}$ (i, j - значения рангов пожара) называется диаграммой состояний системы (в соответствии с определением, данным в работах [26, 48]).

Значения функций принадлежности в зависимости от принадлежности точек к различным областям пространства X распределены следующим образом. Если вектор состояния находится внутри некоторой области I , т.е. при движении вдоль некоторого участка "пути" в пространстве X в области, соответствующей однозначно определенному рангу пожара P_i , значение функции принадлежности к рангу P_i $\mu_i(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M) = 1$, а функций принадлежности к другим рангам $\mu_j(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M) = 0$. Если траектория пересекает границу $\sigma_{c(i)}$ области I , вектор состояния попадает в некоторую переходную область $I - J$, где при дальнейшем движении к границе $\sigma_{c(j)}$ области J , соответствующей рангу P_j , функция $\mu_i(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ изменяет свое значение от 1 до 0, а функция $\mu_j(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ от 0 до 1 соответственно.

Поверхность раздела $\sigma_{c(i-j)}$ рангов расположена в данной переходной области $I - J$. Для построения поверхности раздела $\sigma_{c(i-j)}$ зададим условие перехода

$$\mu_i(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M) = \mu_j(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M) \quad (25)$$

от ранга P_i к рангу P_j , которое находится из решения системы линейных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{1i}(q_1) = \mu_{1j}(q_1) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mu_{mi}(q_m) = \mu_{mj}(q_m) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mu_{Mi}(q_M) = \mu_{Mj}(q_M) \end{array} \right. \quad (26)$$

т.е. определим ее как множество точек равенства значений функций принадлежности.

Определим также условия для построения границы области однозначной принадлежности к рангу P_i . Она представляет собой такую поверхность, что для любых точек, лежащих с одной стороны этой поверхности и на ней значение обобщенной функции принадлежности $\mu_i(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M) = 1$, а при ее пересечении значения μ_i начинают убывать от 1 до 0.

Если использовать кусочно-линейные функции принадлежности μ_{ml} , то поверхности $\sigma_{c(i)}$ и $\sigma_{c(j)}$ представляют собой m – мерные параллелепипеды. При этом можно выделить "область перехода" между рангами, которая расположена между параллелепипедами I и J . Первый параллелепипед ограничивает область пространства X для любой точки области этого пространства функция принадлежности $\mu_i = 1$. Вторым параллелепипед является нижней границей внешних точек, относящихся к рангу P_j для этих представительных точек в любой точке этого пространства функция принадлежности $\mu_j = 1$. Определим условную границу, отделяющую ранги P_i и P_j , как поверхность параллелепипеда $(I-J)$, расположенного между внутренним (I) и наружным (J) параллелепипедами. В любой точке этой поверхности должно выполняться соотношение (25). Для одномерных функций принадлежности μ_{ml} соответствующих координатам этой точки (т. е. значениям параметров, характеризующих данное состояние) выполняются соотношения (26).

Для построения диаграмм состояния объекта с учетом всей совокупности параметров $Q_m, m = \overline{1, M}$ будем использовать одномерные функции принадлежности μ_{ml} . Данное построение проведем в два этапа.

При построении диаграмм мы должны учитывать то обстоятельство, что "истинные" одномерные функции принадлежности имеют непрерывную производную от параметра. Отсюда следует вывод о том, что и "истинные" обобщенные функции принадлежности должны удовлетворять условию непрерывности градиента в пространстве X .

Отсюда можно определить еще одно дополнительное условие, которое вытекает из требования перпендикулярности вектора $grad \mu_i(q_1, \dots, q_m$

, ..., q_M) к поверхности $\sigma_{c(i)}$ при построении граничных поверхностей, а также из требования перпендикулярности $grad \mu_i (q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ и $grad \mu_j (q_1, \dots, q_m, \dots, q_M)$ к $\sigma_{c(i-j)}$ при построении поверхностей раздела рангов.

На первом этапе применим линейное приближение при построении поверхностей $\sigma_{c(i)}$, $\sigma_{c(i-j)}$, $\sigma_{c(j)}$. В этом случае они представляют секущие плоскости, проходящие через вершины соответствующих параллелепипедов, лежащих на соответствующих осях Q_m .

На втором этапе строим модель в квадратичном приближении. В этом случае поверхности $\sigma_{c(i)}$ и $\sigma_{c(i-j)}$ представляют собой m – мерные эллипсоидальные поверхности в пространстве параметров X .

Для построения этих эллипсоидальных поверхностей можно воспользоваться рассмотренными выше параллелепипедами I , $(I-J)$, J . Предварительно необходимо произвести следующее вспомогательное построение. Условно продолжив координатные оси в область отрицательных значений координат, строим 2^m кратно мультиплицированные параллелепипеды I_F , $(I_F - J_F)$, J_F . Затем проведем построение поверхности $\sigma_{c(i)}$, являющейся $(1/2^m)$ частью эллипсоида (соответствующей области пространства, в которой все значений координат положительны), описанного вокруг параллелепипеда, полученного путем мультипликации параллелепипеда I . Аналогичным образом строится поверхность $\sigma_{c(j)}$, являющаяся $(1/2^m)$ частью эллипсоида, описанного вокруг мультиплицированного параллелепипеда J . Построенные эллипсоидальные поверхности так же, как и в линейном приближении поверхности параллелепипедов I и J ограничивают "область перехода" между рангами P_i , P_j . Для построения в квадратичном приближении границы $\sigma_{c(i-j)}$, отделяющей ранги P_i и P_j , необходимо построить промежуточный эллипсоид, состоящий из точек, лежащих в "области перехода" между рангами, расположенной между эллипсоидами I , J .

Из уравнений, задающих поверхности эллипсоидов получаем неравенства, определяющие принадлежность векторов состояния к областям с различным рангом, а также уравнение, задающее граничную поверхность, разделяющую эти области. Эти выражения фактически являются численными критериями, определяющими ранг пожара.

Система неравенств

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M \left(\frac{q_m}{a_{mi}} \right)^2 > M \\ \sum_{m=1}^M \left(\frac{q_m}{b_{mi}} \right)^2 \leq M \end{cases} \quad (27)$$

определяет состояния, однозначно относящиеся к рангу P_i (где $a_{mi} = OA_{mi}$, точки A_{mi} на графиках одномерных функций принадлежности μ_{mi} определяют нижнюю границу состояния, однозначно относящегося к рангу P_i , точка O – начало координат; $b_{mi} = OB_{mi}$, точки B_{mi} на графиках одномерных функций принадлежности μ_{mi} определяют верхнюю границу состояния, однозначно относящегося к рангу P_i).

Аналогичная система неравенств

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M \left(\frac{q_m}{a_{mj}} \right)^2 > M \\ \sum_{m=1}^M \left(\frac{q_m}{b_{mj}} \right)^2 \leq M \end{cases} \quad (28)$$

определяет состояния, однозначно относящиеся к рангу P_j .

Равенство

$$\sum_{m=1}^M \left(\frac{q_m}{c_{m(i-j)}} \right)^2 = M \quad (29)$$

определяет условную границу перехода от ранга P_i к рангу P_j , т.е. поверхность $\sigma_{c(i-j)}$, разделяющую области I и J в пространстве параметров X . Значения $c_{m(i-j)}$ определяется согласно условию перехода (25), из решения системы уравнений (26).

При построении диаграмм состояний исследуемого объекта и определении ранга пожара учитывается влияние коэффициентов α_m , характеризующих "относительную значимость" параметров Q_m , связанных соотношением (1). При отсутствии приоритетов у различных параметров Q_m соблюдается равенство коэффициентов

$$\alpha_1 = \dots = \alpha_m = \dots = \alpha_M = 1/M. \quad (30)$$

Оно нарушается при наличии приоритетов у различных параметров Q_m и их влияние проявляется в деформациях поверхностей σ_c , которые происходят вследствие изменения длины полуосей эллипсоидов. С учетом этих коэффициентов формулы для численных критериев определения ранга можно представить следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^M \alpha_m \left(\frac{q_m}{a_{mi}} \right)^2 > 1 \\ \sum_{m=1}^M \alpha_m \left(\frac{q_m}{b_{mi}} \right)^2 \leq 1 \end{array} \right. ; \quad (31)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^M \alpha_m \left(\frac{q_m}{a_{mj}} \right)^2 > 1 \\ \sum_{m=1}^M \alpha_m \left(\frac{q_m}{b_{mj}} \right)^2 \leq 1 \end{array} \right. ; \quad (32)$$

$$\sum_{m=1}^M \alpha_m \left(\frac{q_m}{c_{m(i-j)}} \right)^2 = 1. \quad (33)$$

Для дальнейшего уточнения предложенной модели и построения поверхностей в кубическом приближении необходимо повысить порядок аппроксимации уравнений, задающих поверхности $\sigma_{c(i)}$, $\sigma_{c(i-j)}$ и $\sigma_{c(i)}$ до третьего. Для этого необходим учет взаимного влияния параметров Q_m на ранг P_i , которое может приводить к "деформации" выпуклой эллипсоидальной поверхности, а также нахождение вторых производных функций принадлежности μ_i , т.е. определение $\text{div}(\text{grad } \mu_i(q_1, \dots, q_m, \dots, q_M))$.

Обобщим результаты, полученные в данном разделе. В процессе решения задачи данным методом получены численные критерии принадлежности ранга пожара, учитывающие зависимость ранга пожара от всей совокупности признаков, повышающие точность решения задачи. Данный метод решения задачи по определению ранга пожара, основанный на построении диаграмм состояния исследуемого объекта в многомерном пространстве его параметров даёт возможность наглядного графического представления о принадлежности текущего состояния объекта (горящего здания) к определяемым в решаемой задаче областям (рангам пожара) и о динамике развития пожара.

Однако, следует отметить, что рассмотренный метод решения задачи имеет более узкую область применения по сравнению с рассмотренными ранее методами, так как имеются ограничения при построении поверхно-

сти раздела рангов пожара, обусловленные тем, что при разработке рассмотренных алгоритмов построения диаграмм состояния мы руководствовались рядом вышеописанных гипотез о свойствах обобщенных функций принадлежности.

В модели мы ограничиваемся рассмотрением одного свойства – ранг пожара, однако следует подчеркнуть, что на основе данного метода можно построить более сложные модели для решения задач по одновременному определению, нескольких свойств исследуемого объекта.

Разработанный метод даёт возможность наглядного графического представления решения задачи по определению ранга пожара.

9. Основные проблемы экспертной оценки объекта

В связи с тем, что методы решения задачи определения ранга пожара основаны на качественной оценке экспертами параметров, влияющих на определение ранга пожара, в целях получения достоверных данных проведем анализ основных проблем, возникающих при получении и обработке экспертной информации, необходимой для создания СППР.

Рассмотрим основные причины, влияющие на характер проведения экспертизы, которые могут приводить к неточности в процессе получения и обработки информации, и к неверным выводам. Согласно [87], к этим причинам можно отнести:

- несовершенство используемых технологий организации и проведения экспертиз;
- отсутствие адекватных оценочных систем.
- недостаточная информированность экспертов о конкретном объекте экспертизы;
- возможная противоречивость экспертных оценок при парных сравнениях;
- отсутствие организации информационного взаимодействия между экспертами;
- конформизм экспертов;
- выбор неправильной процедуры при обработке полученных результатов экспертизы.

Вышеперечисленные причины в большей или меньшей степени влияют на достоверность полученных от экспертов данных и точность их обработки. Необходимо отметить, что для эффективной организации и

проведения экспертизы существенное значение имеет объективный анализ точности результатов экспертных оценок.

Отсутствие профессиональных знаний и опыта в области организации и проведения экспертиз, а также обработки экспертной информации в некоторых случаях превращают достоверные оценки, полученные в результате экспертизы, в недостоверные выводы.

Отметим, что наличие в составе экспертной комиссии специалистов, имеющих значительный авторитет и возможности, может оказывать влияние на суждения и оценки других экспертов.

Также следует учитывать, что эксперты при парных сравнениях объектов иногда дают противоречивые оценки сравнительной предпочтительности объектов.

Из вышеизложенного следует, что для получения качественной экспертной информации необходимо выполнение следующих условий:

- наличие экспертной комиссии, состоящей из специалистов, профессионально знакомых с объектом экспертизы (руководителей тушения пожара, имеющих большой опыт работы);
- наличие аналитической группы, профессионально владеющей технологией организации и проведения экспертиз, методами получения и анализа экспертной информации;
- получение достоверной экспертной информации;
- корректная обработка и анализ экспертной информации;
- необходимость учета характера экспертной информации;
- необходимость учета при проведении сравнительной оценки объекта возможности эксперта оперировать с ограниченным числом объектов и ограниченным числом градаций шкалы.

Отсутствие любого из перечисленных условий приводит к снижению уровня достоверности информации, получаемой от экспертов, и ставит под сомнение эффективность и корректность проводимой экспертизы. Это в свою очередь может привести к ошибочному решению задачи определения ранга пожара.

10. Оценка компетентности экспертов

Одним из главных требований получения качественной экспертной информации является наличие специалистов (РТП), знакомых с объектом экспертизы. В связи с этим возникает необходимость отбора из большого числа потенциальных экспертов, имеющих достаточные знания и опыт ра-

боты при тушении пожаров. Поэтому на первоначальном этапе необходимо, прежде всего, провести определение уровня компетентности потенциальных экспертов.

В настоящее время не существует единого общепризнанного метода оценки компетентности эксперта, поэтому мнение о профессиональном уровне специалиста одних аналитиков нередко существенно отличается от мнения других. Для оценки квалификации эксперта на практике применяется множество методов, которые в свою очередь можно свести к трем основным группам: априорным, апостериорным и тестовым методам [13, 55, 67, 87].

К априорным методам оценки качества эксперта, согласно [55], относятся методы, в которых не используется непосредственно информация о результатах его участия в предшествовавших экспертизах.

Из априорных методов оценки качества эксперта, применяемых на практике, достаточно широко распространены методы самооценивания. К их числу относятся методы самооценки, основанные на использовании балльных, вербально-числовых и вербальных шкал, а также дифференциальный метод.

В методе самооценки, основанном на использовании балльных шкал,

эксперт производит самооценку, т. е. определяет точность своих оценок (соответствие их реальной характеристике объекта) в одной из балльных шкал (3-балльной, 5-балльной и т.д.). Одной из основных проблем, возникающей при использовании данного метода, является достижение одинакового понимания экспертами градаций шкал.

При использовании метода самооценки, основанного на использовании вербально-числовых шкал, содержащих наряду с численными значениями градаций их содержательное описание проблема одинакового понимания экспертами градаций шкалы стоит менее остро.

В методе самооценки, основанном на использовании вербальных шкал, эксперт производит качественную оценку своих знаний и опыта. Как и в предыдущем методе, шкала самооценки имеет содержательное описание градаций шкалы.

В дифференциальном методе самооценки используется, как правило, оценка по двум группам частных критериев. Первая группа критериев характеризует знакомство эксперта с основными источниками информации в данной области. Вторая группа критериев, характеризует знакомство эксперта с объектами экспертизы.

К группе априорных методов оценки качества эксперта относятся также и методы взаимооценки экспертов. В наиболее известных из них применяются способы взаимооценки методом подпроблем, который основан на предположении о том, что проблема, являющаяся объектом оценки, может быть представлена в виде нескольких подпроблем. При проведении процедуры взаимооценки оценивается степень знакомства эксперта с каждой из подпроблем.

Отметим, что рассмотренные выше априорные методы могут применяться и для оценки уровня квалификации руководителей тушения пожара, привлеченных к участию в разработке системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара.

Рассмотрим следующую группу методов оценки качества эксперта, основанных на использовании информации о результатах его участия в предшествовавших экспертизах. Такие методы относятся к группе апостериорных методов. С помощью апостериорных методов можно получить оценку таких факторов, как степень конъюнктурности эксперта, степень его конформизма. К группе данных методов, прежде всего, относится метод парных сравнений и метод достоверности суждений эксперта [87].

В основе оценки компетентности эксперта методом парных сравнений лежит использование избыточности получаемой от экспертов информации, путем построения цепочек сравнений, которые могут выявить противоречивость суждений. Эксперту последовательно предъявляются пары сравниваемых объектов. Он указывает, какой из предъявленной пары объектов является с его точки зрения более предпочтительным. После предъявления всех пар объектов у аналитиков оказывается, как правило, дублированная информация о предпочтениях эксперта. Уровень компетентности эксперта зависит от вероятности противоречий в совокупности оценок, полученных от него, т. е. чем меньше противоречий в оценках, данных экспертом, тем более компетентным он считается.

Метод достоверности суждений эксперта основан на определении степени достоверности суждений эксперта по результатам его участия в предшествовавших экспертизах. В качестве критерия оценки степени достоверности суждений эксперта, используется коэффициент достоверности, определяемый относительной частотой случаев, в которых он приписывал наибольшую вероятность впоследствии подтвердившимся событиям. При использовании этого метода принято рассчитывать также среднее значение коэффициента достоверности для экспертной комиссии и сопоставлять с ним индивидуальные коэффициенты достоверности экспертов.

Отметим, что применение метода достоверности суждений в нашем случае возможно лишь при неоднократном участии эксперта (РТП) в работе экспертных комиссий, а также при наличии актуализируемого банка экспертов, который в настоящее время в подразделениях ГПС отсутствует. В нашем случае для оценки уровня квалификации РТП можно применить метод парных сравнений и его модификации.

Рассмотрим группу тестовых методов оценки качества эксперта, которые предполагают проведение специального тестового эксперимента [13, 87].

Проведение соответствующих тестовых процедур обусловлено в первую очередь необходимостью оценки подготовленности эксперта к участию в работе экспертной комиссии, кроме того, они способствуют лучшему пониманию экспертами содержательного смысла экспертных процедур, в которых им предстоит принять непосредственное участие. Общая технология проведения тестовых процедур изложена в работах Сидельникова Ю.В. [87], Панковой Л.А. [67], Вартазарова И.С. [13].

Тестовые методы широко используются при определении профессиональной пригодности специалистов в различных областях деятельности [13, 67, 87]. Отметим, что тестовые методы оценки эксперта должны быть ориентированы на установление профессионального уровня эксперта и на определение достаточных навыков и опыта, которые требуются для его эффективного участия в работе экспертных комиссий.

Укажем некоторые общие моменты, играющие важную роль при проведении тестовых экспериментов [13, 67, 87]:

1. Тест должен быть разработан под конкретный объект экспертизы, так как тест является необходимым инструментом при оценке профессиональной пригодности эксперта для участия в работе экспертных комиссий.

2. Результаты тестовых оценок эксперта должны соответствовать истинным их значениям, известным только аналитической группе, проводящей тестовый эксперимент, но не самому эксперту.

3. Должна быть разработана шкала, позволяющая определять степень точности оценок, в которой могут устанавливаться допустимые пределы отклонения оценок, даваемых экспертом, от их истинных значений.

На основе проведенного выше анализа можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительными методами определения компетентности эксперта в нашем случае являются методы из априорной и тестовой групп, так как для их реализации не требуется наличие баз данных, со-

держащих информацию об участии экспертов в предыдущих экспертизах.

Используя априорные и тестовые методы оценки уровня квалификации эксперта, нами в работе [103] предлагается определять компетентность эксперта на основе двух критериев: степени его осведомленности по рассматриваемой проблеме и уровнем его квалификации с точки зрения экспертов, работающих с ним в одной комиссии.

Отметим, что основное преимущество предлагаемого метода заключается в том, что он является относительно нетрудоемким и в тоже время позволяет получить достаточно объективную информацию об уровне квалификации эксперта, так как здесь учитывается опыт работы экспертов (РТП) и непосредственно их знания в области тушения пожаров на определенной группе объектов. Эти особенности предложенного метода позволяют объективно сформировать состав экспертной комиссии.

Исходной информацией для определения компетентности экспертов в данном методе являются заполненные самими экспертами две специальные анкеты.

Первая анкета содержит вопросы, определяющие профессиональные знания эксперта по данной проблеме, т. е. выявляются их знания особенностей тушения пожаров на определенной группе объектов.

Вторая анкета содержит взаимные оценки уровня компетенции экспертов, входящих в состав кандидатов создаваемой экспертной комиссии. Оценки проставляются для всех экспертов. Вся необходимая информация представляется в виде $n \times n$ матрицы компетентности $K = \{k_{ij}\}$, каждый элемент которой k_{ij} является оценкой компетентности j -го эксперта, полученной с помощью i -го эксперта.

Затем для первой и второй анкеты участниками аналитической группы определяются некоторые пороговые значения суммарных оценок коэффициента компетентности a и b .

Если оказывается, что $K_1 < a$, $K_2 < b$, где K_1 и K_2 - суммарные оценки коэффициентов компетентности эксперта по первой и второй анкетам соответственно, то j -й эксперт считается неквалифицированным в группе. Если выполняются неравенства $K_1 \geq a$, $K_2 < b$, то необходимо провести уточнение данных по j -му эксперту в группе экспертов. И, наконец, если выполняются неравенства $K_1 \geq a$, $K_2 \geq b$, то j -й эксперт считается квалифицированным в группе.

Используя данный метод, предлагается определять состав экспертной комиссии для построения СППР по определению ранга пожара.

Алгоритм определения состава экспертной комиссии можно изобразить в виде блок-схемы (рис. 9). С помощью данной схемы можно наглядно представить процесс формирования экспертной комиссии.

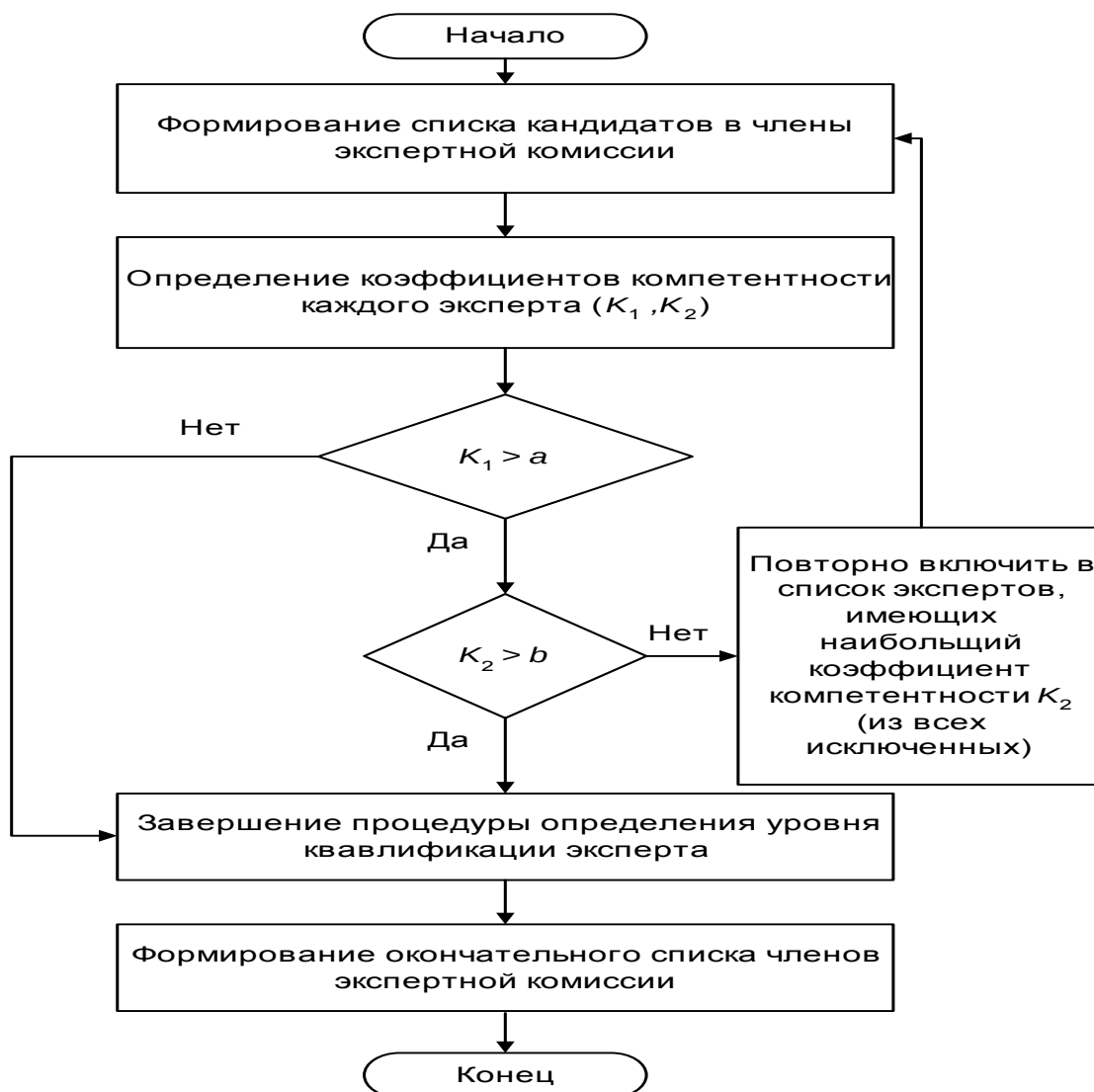


Рис. 9. Блок-схема алгоритма определения состава экспертной комиссии

11. Выводы

При определении необходимого количества сил и средств руководителем тушения пожара учитывается множество факторов, характеризующих складывающуюся обстановку на горящем объекте, показано, что данные факторы для различных групп объектов имеют некоторые отличия. Проведенный анализ оперативно-тактической характеристики объектов (на примере административных и жилых зданий) позволил выявить основные

факторы (параметры), влияющие на установление ранга пожара.

Рассмотрены существующие методы "качественных" экспертных оценок: метод экспертной классификации, метод парных сравнений, ранжирование альтернативных вариантов, метод векторов предпочтений. На основе сравнительного анализа данных методов показано, что при получении оценок экспертов для формализации факторов (параметров), влияющих на установление ранга пожара, целесообразно применять метод экспертной классификации.

Предложенная методика заполнения таблицы характерности векторов состояния для каждого ранга пожара, основанная на гипотезе о различной характерности диагностических признаков, позволяет значительно упростить процедуру отнесения экспертами векторов состояния к конкретному рангу.

Рассматриваемые параметры, влияющие на определение ранга пожара, имеют различную значимость. В связи с этим использование одинаковой оценочной шкалы для значений параметров может приводить к завышению либо к занижению ранга пожара. Введение весовых коэффициентов позволяет учесть пропорциональный вклад соответствующих параметров в оценку объекта. Расчет нормированных весовых коэффициентов можно осуществлять, используя метод парных сравнений.

Разработанные методы, основанные на использовании математического аппарата теории нечётких множеств, позволяют повысить точность решения задачи определения ранга пожара, в связи с тем, что учитывается расплывчатость границ между смежными рангами пожара. При этом количество терм-множеств, на основе которых строятся математические модели для определения ранга пожара, неограниченно, так как увеличение их числа не вызывает у экспертов и специалистов из аналитической группы существенных затруднений.

Использование разработанного метода решения задачи по определению ранга пожара с применением теории нечетких множеств, основанный на построении диаграмм состояний исследуемого объекта в многомерном пространстве его параметров позволяет решать задачи по одновременному определению нескольких свойств исследуемого объекта.

Полученные численные критерии принадлежности ранга пожара, учитывают зависимость ранга пожара от всей совокупности признаков.

Построенные математические модели для решения задачи определения ранга пожара, которые позволяют формализовать любые параметры, независимо от их количества можно применять для определения ранга пожара на различных объектах.

Системы поддержки принятия решений, построенные на основе разработанных методов, могут применяться для решения ряда задач, заключающихся в оценке текущего состояния пожара и динамики его разви-

тия, в сравнительном анализе эффективности деятельности руководителей пожарных подразделений на различных пожарах, а также в разработке документов предварительного планирования боевых действий пожарных подразделений.

Полученные теоретические и методические результаты проверены на ряде практических примеров в процессе анализа пожаров, произошедших в различных городах России. Результаты проверки показали, что системы поддержки принятия решений по определению ранга пожара имеют достаточно высокую эффективность.

При проведении экспертизы необходимо учитывать причины, которые могут приводить к неточности в процессе получения и обработки информации и к неверным выводам, в связи с этим необходимо учитывать основные требования к организации экспертизы, выполнение которых обеспечивает ее качественное проведение.

Достоверность полученных результатов в системе поддержки принятия решений зависит от оценок, данных экспертами, поэтому целесообразно определить компетентность эксперта (группы экспертов), чтобы избежать субъективизма при получении экспертных оценок. В данном разделе предложен метод определения компетентности эксперта на основе двух критериев: степени осведомленности по рассматриваемой проблеме и уровнем квалификации с точки зрения других экспертов. Данный метод позволит облегчить процедуру создания экспертной комиссии.

Перечень сокращений

АРМ – автоматизированное рабочее место
АГПС – Академия Государственной противопожарной службы
АСИППР – автоматизированная система информационной поддержки принятия решений
АУП – автоматическая установка пожаротушения
ВНИИ ГОЧС – Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций
ВНИИПО – Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны
ГДЗС – газодымозащитная служба
ГПС – Государственная противопожарная служба
ЕДДС – единая дежурно-диспетчерская служба
ЛПР – лицо принимающее решение
МЧС – Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
НИОКР – научно-исследовательская опытно-конструкторская работа
РТП – руководитель тушения пожара
СДЯВ – сильно действующие ядовитые вещества
СО – степень огнестойкости
СППР – система поддержки принятия решений
ФЦ – Федеральный центр

ЦУС – центр управления силами
ЧС – чрезвычайная ситуация
ЭВМ – электронные вычислительные машины

Литература

1. Башлыков А.А., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. – М.: МЭИ, 1994. – 216 с.
2. Белоногов Г.Г., Новоселов А.П. Автоматизация процессов накопления, поиска и обобщения информации. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 256 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 159 с.
4. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – Рига: Зинанте, 1990. – 240 с.
5. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
6. Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф., Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.
7. Брушлинский Н.Н. и др. Системный анализ и проблем пожарной безопасности народного хозяйства. – М.: Стройиздат, 1988. – 413 с.
8. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы. – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.
9. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М.: МИПБ МВД РФ, 1998. – 255 с.
10. Брушлинский Н.Н., Микеев А.К., Бозуков Г.С. и др. Совершенствование организации и управления пожарной охраной. – М.: Стройиздат, 1986. – 152 с.
11. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Вагнер П. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в мире на рубеже столетий // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВНИТИ, 2000. – Вып. 6. – с. 68-102.
12. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука, 1988. – 383 с.
13. Вартазаров И.С., Горлов И.Г., Собиняков Б.А. Коллективные экспертные оценки в задаче совершенствования перспективного планирования научных исследований в энергетике. – М.: Информэнерго, 1977. – 74 с.
14. Введение в теорию нечетких множеств и интервальную математику. Учебное пособие // Гитман М.Б. Ч. 1. Применение лингвистической переменной в системах принятия решений. – Пермь: ПГТУ, 1998. – 45 с.
15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
16. Воробьев Н. Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с.
17. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. – М.: Радио и связь, 1992. – 200 с.
18. Герасимов В.Е., Прытов А.А., Шумилов А.А., Янбых Г.Ф. Концепция создания сети передачи данных систем управления авиационными перевозками. – М.: ГВЦГА, 1997 – 97 с.
19. Глуховенко Ю. М., Коробко В.Б. Организационное проектирование многофункциональной пожарно-спасательной службы. – М.: "АРС", 2003. – 291 с.

20. Глуховенко Ю.М. Методологические основы проектирования организационной структуры Государственной противопожарной службы. – М.: издательство "АРС", 2001. – 162 с.
21. Глушков В.М. О системной оптимизации // Кибернетика № 5. – 1980. – С. 89-91.
22. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. – М.: Наука, 1987. – 552 с.
23. Горенский Б.М. Принципы построения автоматизированной системы управления. – Красноярск: ГАЦМиЗ, 1995. – 84 с.
24. ГОСТ Р ИСО/МЭК 62-2000. Общие требования к органам, осуществляющим оценку и сертификацию систем качества.
25. Григорьев Л.И., Арабаджи М.С., Гасымов И.Т. Экспертные системы и их применение (на примере нефтегазовой геологии). – М.: ИРЦ "Газпром", 1993. – 69 с.
26. Гуфан Ю. М. Структурные фазовые переходы. – М.: Наука, 1982. – 312 с.
27. Доклад Президенту России "Горящая Россия". – М.: Пожарная безопасность: информатика, техника. Ассоциация "Пожарная техника", № 1, 1992. – с. 7-70.
28. Дэвид Г. Метод парных сравнений. – М.: Статистика, 1978. – 144 с.
29. Еремеев А.П. Экспертные модели и методы принятия решений. – М.: МЭИ, 1995. – 110 с.
30. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики. – М.: Наука, 1994. – 462 с.
31. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию проблемных решений. – М.: Мир, 1976. – 161 с.
32. Засыпкин А.В. Количественные оценки принятия решений в экспертных системах при нечеткой информации // Материалы 4 международной конференции "Системы безопасности" – СБ-95. – М.: ВИПТШ МВД России, 1995. – с. 48-51.
33. Иванов Д. Итоги переписи населения 2002 // Вокруг света. 2004 – № 5 – С. 104-116.
34. Интеллектуальные и обучающие системы. Учебное пособие // Т.А. Гаврилова, Е.В. Зудилова, М.З. Ильясов; СПбГТУ, 1992. – 110 с.
35. Исайкин Ф.А. Разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений о привлечении пожарных подразделений на пожары в крупном городе // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – М.: 1999.
36. Искусственный интеллект: Справочник. Книга 1. Системы общения и экспертные системы // Под редакцией Э.В. Попова. – М.: 1990. – 464 с.
37. Кашевник Б.Л. Опыт ведения спасательных работ в многоэтажных зданиях при чрезвычайных ситуациях // Пожарная безопасность. 2003 – № 4 – с. 33-36.
38. Керов Л.А., Частиков А.П., Юдин Ю.В., Юхтенко В.А. Экспертные системы: Инструментальные средства разработки. – СПб.: Политехника, 1996. – 220 с.
39. Кимстач И.Ф. и др. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.
40. Климовцов В.М. Особенности формирования экспертных оценок для системы поддержки принятия решений в ГПС // Материалы 12 международной конференции "Системы безопасности" СБ-2003. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – с. 118-120.
41. Климовцов В.М. Распределенные системы поддержки принятия решений в управлении Государственной противопожарной службой // Материалы 11 международной конференции "Системы безопасности" СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – с. 145-146.

42. Климовцов В.М. Решение задачи экспертной классификации определения ранга пожара с применением теории нечетких множеств // Материалы Международной научно-технической школы-конференции "Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию". – М.: МИРЭА, 2003. – с. 313-316.
43. Климовцов В.М. Решение задачи экспертной классификации по определению ранга пожара в административных и жилых зданиях // Вестник Академии ГПС МЧС России. – 2004. – № 1. – с. 116-120.
44. Климушин Н.Г., Кононов В.М. Тушение пожаров в зданиях повышенной этажности. – М.: Стойиздат, 1983. – 191 с.
45. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
46. Коробко В.Б. Расширение функций Государственной противопожарной службы: вопросы теории и практики. – М.: издательство "АРС", 2002. – 131 с.
47. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
48. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика в 10 т. Т. 5. Статистическая физика. Ч. 1. – М.: Физматлит, 2001. – 615 с.
49. Лапко А.В., Ченцов С.В. Многоуровневые непараметрические системы принятия решений. – Новосибирск: Сиб. предприятие РАН, 1997. – 192 с.
50. Лаптев Г.Ф. Элементы векторного исчисления. – М.: Наука, 1975.
51. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
52. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М. Выявление экспертных знаний. – М.: Наука, 1989. – 128 с.
53. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 208 с.
54. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения. – М.: Дело, 2004. – 416 с.
55. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
56. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
57. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
58. Лорьер Ж. Л. Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
59. Мешалкин Е. А., Крылов А. Г., Олейников В.Т., Абрамов А.П. К вопросу автоматизации информационной поддержки действий должностных лиц на пожаре // Материалы 11 международной конференции "Системы безопасности" – СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – с. 11-13.
60. Мешалкин Е.А., Кокушкин В.А., Дударев Г.И. Системы поддержки принятия решений и перспектива их использования в пожарной охране // Обзор информации. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1989. – 39 с.
61. Мешалкин Е.А., Кокушкин В.А., Дударев Г.И. Экспертные системы и перспектива их использования в пожарной охране // Обзор информации. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1988. – 43 с.
62. Мешалкин Е.А., Олейников В.Т., Абрамов А.П. Структура программно - аппаратного комплекса поддержки принятия решений для руководителя тушения пожара // Сб. тр.ч.2 "Крупные пожары предупреждение и тушение". – М.: ВНИИПО МВД России, 2001. – с. 520-524.
63. Микони С.В., Баушев А.Н. Методы и алгоритмы принятия решений. Учебное

- пособие // ч.2. – СПб.: ПГУПС, 1996. – 54 с.
64. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М.: 1991. – 286 с.
65. Ногин В.Д., Чистяков С.В. Применение линейной алгебры в принятии решений. – СПб.: СПбГТУ, 1998. – 40 с.
66. Острейковский В.А. Информатика: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 511 с.
67. Панкова Л.А., Петровский А.М., Шнейдерман М.В. Организация экспертизы и анализ экспертной информации. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
68. Плотников В. Н., Зверев В. Ю. Принятие решений в системах управления. Часть 1: Теория и проектирование алгоритмов принятия оперативных решений: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 172 с.
69. Плотников В. Н., Зверев В. Ю. Принятие решений в системах управления. Часть 2: Теория и алгоритмы принятия проектных решений для многообъектных распределенных систем управления. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1994. – 144 с.
70. Повзик Я. С. Пожарная тактика. – М.: ВИПТШ, 1984. – 479 с.
71. Повзик Я. С. Пожарная тактика. – М.: ЗАО "Спецтехника", 1999. – 411 с.
72. Поляков А.О. Интеллектуальные системы управления. Введение в прикладную теорию. – СПб.: СПбГТУ, 1997. – 88 с.
73. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 320 с.
74. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
75. Пранов Б.М. Математическое моделирование в задачах управления размещения сил и средств противопожарной службы // Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – М.: 1998.
76. Представление знаний и экспертные системы // Сб. тр. Научный редактор В.В. Александров АН СССР Ленинградский институт информатики и автоматизации. – Л.: 1989. – 194 с.
77. Приказ МВД России № 257 от 5.07.95г. "Об утверждении и введении в действие Устава службы пожарной охраны МВД России".
78. Приказ УГПС г. Москвы № 104 от 19.06.97 "О порядке привлечения сил и средств гарнизона пожарной охраны г. Москвы".
79. Приказ УГПС г. Москвы № 122 от 12.04.2000 "О составлении перечня особо важных объектов".
80. Приказ УГПС Ростовской области № 21 от 21.01.2003 "О порядке привлечения сил и средств гарнизона пожарной охраны г. Ростова – на – Дону".
81. Программные и аппаратные средства. // Под редакцией В. Н. Захарова, В.Ф. Хорошевского. – М.: Радио и связь. 1990. – 368 с.
82. Райхман Э.П., Азгальдов Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товара. – М.: Экономика, 1974 – 151 с.
83. Ростокеев В.В. Экспертная система для обработки данных контроля загрязнения атмосферы. – СПб.: 1997. – 261 с.
84. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: 1993. – 320 с.
85. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 200 с.
86. Семиков В.Л. Теория организаций: Учебник. – Академия ГПС МЧС России, 2003. – 220 с.
87. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. - М.:

ИМЭМО АН СССР, 1990. – 195 с.

88. Смородинский С.С., Батин Н.В. Алгоритмы и программные средства интеллектуальных систем принятия решений. – Минск: БГУИР, 1994. – 68 с.

89. СНиП 2.08.01-89* Жилые здания.

90. СНиП 2.09.04-87* Административные и бытовые здания.

91. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений.

92. Соколов С.В. Методологические основы разработки и использования компьютерных имитационных систем для исследования деятельности и проектирования аварийно-спасательных служб в городах // Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – М.: 1999.

93. Средства информатизации фонда программных средств ГПС МЧС РФ ФГУ ВНИИПО, 2003.

94. Терано Т., Асан К., Суджено М. Прикладные нечеткие системы. – М.: Мир, 1993. – 320 с.

95. Теребнев В.В., Теребнев А.В., Грачев В.А. Организация службы начальника караула пожарной части. - Екатеринбург: Издательский дом "Калан", 2000 – 304 с.

96. Теребнев В.В., Теребнев А.В., Подгрушный А.В., Грачев В.А. Пожарно-строевая подготовка – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 425 с.

97. Теребнев В.В., Теребнев А.В., Подгрушный А.В., Грачев В.А. Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 285 с.

98. Теребнев В.В., Теребнев А.В., Управление силами и средствами на пожаре. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 261 с.

99. Тихомиров М.М. Системы информационной и интеллектуальной поддержки управленческой деятельности в структурах государственной службы. – М.: РАГС, 1995. – 185 с.

100. Топольский Н.Г., Вязилов А.В. Создание баз знаний для систем поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях // Материалы 2 международной конференции "Информатизация систем безопасности" – ИСБ-93. – М.: ВИПТШ МВД России, 1993. – с. 55-60.

101. Топольский Н.Г., Климовцов В.М. Функции и задачи мобильной информационной системы поддержки принятия решений в деятельности оперативных служб // Материалы Международной научно-технической школы-конференции "Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию". – М.: МИРЭА, 2003. – с. 311-312.

102. Топольский Н.Г., Климовцов В.М. Принципы построения автоматизированных систем поддержки принятия решений в Государственной противопожарной службе // Материалы 8 международного форума "Технологии безопасности". – М., 2003. – С. 285.

103. Топольский Н.Г., Климовцов В.М., Афанасьев К.А. Применение экспертных систем для поддержки принятия решений руководящим составом ГПС и метод определения компетентности экспертов // Материалы 9 международного форума "Технологии безопасности". – М., 2004. – с. 405-407.

104. Топольский Н.Г., Прус Ю.В., Климовцов В.М. Определение ранга пожара на объекте по диаграммам состояния // Материалы 13 международной конференции "Системы безопасности" СБ-2004. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – с. 297-299.

105. Топольский Н.Г., Климовцов В.М. Требования к сети передачи данных в

управлении оперативными подразделениями МЧС // Материалы Международной научно-технической школы-конференции "Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию". – М.: МИРЭА, 2003. – с. 312- 313.

106. Топольский Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – 165 с.

107. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная система поддержки принятия решений. – М.: Синетег, 1998. – 376 с.

108. Туркин Б.Ф. Состояние пожарной безопасности в России // Пожарная безопасность, информатика и техника. – 1997. – №1 (19). – с. 49 - 52.

109. Уотерман Д., Хейес-Рот Ф., Ленат Д., Построение экспертных систем. – М.: Мир, 1987 – 441 с.

110. Фатеев В.П., Шварц-Зиндер С.Н., Подбор существующих оболочек для экспертных систем управленческого типа // Материалы 6 международной конференции "Системы безопасности" – СБ-97. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – с. 65-67.

111. Фаттахон А.А. Установление причины пожара с применением экспертных систем // Сб. тр. ч. 1 " Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков". – М.: ВНИИПО МВД России, 1999. – с. 75-77.

112. Федеральный закон "О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера" от 31 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

113. Федеральный закон "О пожарной безопасности" от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ.

114. Харисов Г.Х. Основы обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. МИПБ МВД России, 1998. – 89 с.

115. Хахулин Г.Ф., Овчинников С.А. Построение моделирующей системы анализа и синтеза надежности структуры для систем поддержки принятия решений сложной технической системы // Сб. тр. Задачи поддержки и принятия решений в автоматизированных системах. – М.: МАИ, 1990. – 61 с.

116. Ходжаев Г.А. Интеллектуальное управление организационными системами. – М.: МГГУ, 1997. – 204 с.

117. Чери С. Готлоб Г. Танка Л. Логическое программирование и базы данных. – М.: Мир, 1992. – 352 с.

118. Шапиро Д.И. Принятие решений в системах организационного управления. Использование расплывчатых категорий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.

119. Шеховец О.И., Чертовской В.Д., Шафрин Б.М. Интеллектуальные средства поддержки принятия управленческих решений. – С.Пб.: 2000. – 60 с.

120. Шумский А.Е. Основы теории принятия решений. - Владивосток: ДВГАЭУ, 1999. – 72 с.

121. Экспертные системы в военном деле // Учебное пособие. Киевское высшее военное авиационное инженерное училище. – Киев: 1991. – 114 с.

122. Ягер Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

123. "Einsatz fuer 31 Emil". Rettung magazin Januar / Februar – 97. – p. 18-22.

124. Alekhin E.M., Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning. "Fire International", 11/1996. – p. 32-33.

125. Brushlinsky N., Nitzschke M., Sokolov S., Wagner P., Feuerwehren in Millionenstaedten. Organisation, Probleme und Loesungen. Stuttgart, Berlin. Koeln, 1995. – p. 308-310.

126. Buchanan B.G., Bobrow D., Davis R., Mc Dermott J., Shorlife E.M. Knowledge

– based system // Annu. Rep. Computer Science. № 4, 1990. – p. 395-416.

127. Einrichtungen und Weiterentwicklung des Rettungswesens. Brandschutz. - 1988, Vol. 42, № 9. – p. 559-563.

128. Franklin J.E., Carmody C.L., Keller K., Levit T.S., Butean B.L. Expert system technology for military selected samples // Proceedings of the IEEE Vol. 76, N 10, oct. 1988. – p. 1327-1336.

129. Revelle C. Siting ambulances and fire companies. American planning association journal Vol. 57, №4, 1991. – p. 471-484.

130. Saaty T.L. Exploring the interface between hierarchical structures. Fuzzy Sets and Systems. Vol. 1, № 1, 1978. – p. 57-68.

131. Sardquist Stefan. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactic // Report 1014, Dept of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG / TVBB-1014-SE. – 1996. – 83 p.

132. Shershakov V.M., Trakhtengerts E.A. Decision making in emergency as computer analysis with dynamically changeable rules // Fourth International Workshop. Decision making support for offsite emergency management. AR Sweden. Radiation protection dosimetry. Vol. 13. № 1-4, 1997. – p. 141-142.

133. Zade L. A. Knowledge representation in fuzzy logic // IEEE Transaction in Knowledge and Data Engineering № 1, March 1989. – p. 89-100.

134. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Inf. and Control N 8, 1965. – p. 338-353.

135. Zimmerman H.J., Zysno P. Decisions and evaluations by hierarchical aggregation of information. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 10, №3, 1983. – p. 243-260.

136. Топольский Н.Г., Домбровский М.Б. Основы применения теории игр в автоматизации систем пожарной безопасности. М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996.-117 с.