

УДК 519.81

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ В ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ**

*С.В. Семенов, к.т.н.*

*(НИИ «Центрпрограммсистем», 170024, г. Тверь, пр-т 50 лет Октября, 3а, semenov\_58@mail.ru)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены существующие методики оценки пожарной опасности и предложен метод оценки на базе теории полезности.

На основе сделанных предположений и допущений даны несколько вариантов оценки пожарной опасности и методы расчета параметров предлагаемой модели.

**Ключевые слова:** теория принятия решений, теория полезности, пожарная опасность, эталонная модель, шкала интервалов.

В ряде работ, например в [1–6], исследуются вопросы и методы определения пожарной опасности помещений, предлагаются подходы к ее оценке. В основном эти методы основываются на определении максимальной пожарной (горючей) нагрузки и введении ряда поправочных коэффициентов, учитывающих особенности противопожарных мер и пожарной обстановки.

В целом такие подходы имеют многолетнюю историю и вполне оправданы, хорошо поддаются описанию в руководящих и нормативных документах, однако имеют ряд недостатков, к которым можно отнести следующие.

Как справедливо отмечено в работе [1], число факторов, влияющих на возникновение и развитие пожара, очень велико, к тому же трудно учесть их взаимное влияние. Часть факторов просто не берется во внимание при построении моделей, часть упрощается при оценке.

Трудно поддаются оценке и случайные факторы, которые часто бывают причиной пожара.

Большое значение имеет степень реализации каждого фактора, то есть, в каком исполнении был оценен пожарный фактор, как спроектированы, реализованы на производстве и соблюдались в эксплуатации меры безопасности.

При этом часть факторов может быть оценена непосредственно как количественные меры (Дж, кг), а часть – как качественные (субъективные оценки). Например, подготовленность экипажа корабля, конструктивные особенности помещения и т.п.

Проблемой также являются наличие, достоверность и точность исходных данных для расчетов. С одной стороны, это обусловлено появлением большого количества новых материалов и их сочетаний без сопутствующих горючих характеристик, получаемых экспериментально, а с другой – разнообразными свойствами материалов и условиями, возникающими в процессе производства, эксплуатации и взаимного влияния, существенно меняющими эталонные свойства материалов. Например, влажность древесины, старение пластика, электропроводность и т.п. Подобные особые условия упоминаются в литературе, но способы их учета практически не предлагаются. Все это приводит к тому, что строятся упрощенные модели пожарной ситуации с отбрасыванием всех незначительных и неизмеряемых факторов, которые очень часто становятся причиной пожара и его неблагоприятного развития. Стремление сделать объект максимально пожаробезопасным очень часто наталкивается на проблему стоимости противопожарных мер.

Еще одной проблемой является попытка автоматизировать непосредственно методики пожарной безопасности без учета появления принципиально новых возможностей развивающихся технологий.

Предлагаемый в данной работе подход основан на методах теории принятия решений как раздела теории полезности. Суть метода кратко можно сформулировать следующим образом. Оцениваемая ситуация рассматривается как многофакторная модель, каждый из факторов которой может иметь как количественную, так и качественную оценку. Оценки всех факторов отображаются на шкалу интервалов, построенную на субъективных оценках значимости каждого фактора относительно поставленной задачи. При решении задач оценки пожарной опасности можно говорить о целевой функции не полезности каждого фактора, а вредности, что принципиально не меняет общего подхода.

Методическим допущением подхода является построение эталонной модели пожарной ситуации. Оценка производится на основании сравнения вариантов пожарных ситуаций с эталонной моделью. Наибольшее удаление реальной ситуации от эталонной модели и является определяющим для принятия решений в задачах пожарной безопасности.

В данной статье рассматриваются четыре варианта подхода к оценке:

– с выделением одного главного фактора пожарной опасности и с введением поправочных коэффициентов;

– с ранжированием нескольких важных факторов;

- с учетом стоимости противопожарных мероприятий;
- с учетом взаимного влияния факторов.

При **первом** подходе (самом простом) сделаны следующие предположения и допущения. Ситуация пожарной опасности оценивается в целом, с некоторым учетом влияния отдельных факторов (без точной оценки значений этих факторов). Выбирается один главный фактор, имеющий наибольшее влияние на пожарную опасность, например горючая нагрузка. Предполагается, что именно она представляет наибольшую опасность. Если это не так, необходимо использовать методику второго варианта (с оценкой влияния каждого фактора).

Все факторы пожарной опасности (кроме горючей нагрузки) представляются в виде поправочных коэффициентов к горючей нагрузке. Предполагается, что если факторы имеют самое плохое проявление (то есть ничем не ограничены), то они не препятствуют реализации фактора горючей нагрузки в полной мере, то есть горение происходит наиболее интенсивно (максимальная скорость распространения пламени, максимальное выделение вредных газов и т.п.) – это и считается максимальной пожарной опасностью.

Снижение пожарной опасности производится за счет специальных мероприятий, что отражается в уменьшении значений поправочных коэффициентов.

Предполагается несколько типов поправочных коэффициентов.

Во-первых, поправка на массу материала. Чем меньше масса материала, тем меньше от него пожарная опасность. С другой стороны, выделение массовой характеристики отдельно от других связано с тем, что вместо рассмотрения каждого материала отдельно выбирается представитель группы материалов. И массовая характеристика принимает участие в выборе представителя группы.

Во-вторых, учет собственно пожарной опасности отдельной горючей характеристики по своей физической сущности.

В-третьих, учет степени реализации характеристики. Если предусмотрены мероприятия по ограничению проявления данной характеристики, это находит отражение в понижающем коэффициенте реализации.

Подчеркнем, что в первом варианте методики максимальная пожарная опасность определяется максимальной пожарной (горючей) нагрузкой (в данном случае это допущение).

Если на оценку пожарной опасности имеют существенное влияние другие факторы, нужно использовать второй вариант методики. Суть его в том, что строится количественная (интервальная) шкала оценки пожарной опасности, в частности горючей нагрузки (и других факторов, имеющих количественные и качественные характеристики).

В качестве эталона сравнения формулируется пожарная (горючая) нагрузка с характеристиками в наихудшем (в пожарном смысле) варианте.

Все отобранные для построения шкалы характеристики можно разбить на два типа:

1-й тип – наиболее значимые характеристики с точки зрения пожарной опасности; в частности, в этом варианте методики выбирается одна характеристика – горючая нагрузка;

2-й тип – характеристики, которые можно представить в виде поправочных коэффициентов к характеристикам первого типа.

Оценка заключается в сравнении возможных реальных ситуаций с модельной (эталонной) ситуацией и в отражении результата этого сравнения на числовую ось (шкалу оценки).

Наихудшим вариантом пожарной опасности считается такое сочетание факторов, когда ничто не мешает реализации каждой горючей характеристики в самой полной мере, например, максимальная скорость распространения пламени данного материала, максимальное выделение вредных газов, максимальное потребление кислорода и т.п. В реальности такое сочетание факторов практически невозможно, поэтому оно и принимается в качестве некоего эталона. А все факторы, так или иначе мешающие реализации горючей характеристики в полной мере, представляются в виде уменьшающего коэффициента. Например, бензин не в открытой таре, а в герметично закрытой. Расположение древесных плит не вертикальное, а горизонтальное. Проемы не постоянно открытые, а имеющие герметичную дверь и т.п.

Через эти поправочные коэффициенты можно учесть множество как очень важных факторов, так и, возможно, не столь существенных.

Поправочные коэффициенты определяются экспертно специалистами, хорошо знающими, как наличие или отсутствие противопожарных мер влияют на снижение опасности. Обычно для специалистов такая оценка не вызывает затруднений. Например, насколько сокращается время горения, если в помещении обеспечена герметичность.

Таким образом, можно определить теоретическую (потенциальную) пожарную опасность через максимальную горючую нагрузку и оценить эффективность комплекса мер по снижению пожарной опасности.

В литературе встречаются понятия «пожарная» и «горючая нагрузка». В данной методике принято следующее разделение терминов.

Пожарная нагрузка – это масса горючих материалов (кг), подлежащих оценке. Соответственно, удельная пожарная нагрузка – это пожарная нагрузка, отнесенная к площади (кг/м<sup>2</sup>).

Горючая нагрузка – это количество теплоты, которое может быть выделено при пожаре из пожарной нагрузки (МДж). Соответственно, удельная горючая нагрузка – это горючая нагрузка, отнесенная к площади (МДж/м<sup>2</sup>).

Общая формула расчета показателя пожарной опасности для данного варианта методики следующая:

$$P = \sum_i Q_i * M_i * P_{1i} * P_{2i} * P_{3i} * P_{4i} * P_{5i}$$

где  $P$  – общий показатель пожарной опасности по всем материалам и по всем характеристикам; в данном случае это сумма горючей нагрузки по всем материалам с поправочными коэффициентами по каждому материалу (в МДж/м<sup>2</sup>);  $Q_i$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала (представителя группы материалов);  $M_i$  – масса  $i$ -го материала (пожарная нагрузка);  $P_{1i}$  – коэффициент линейной скорости распространения пламени  $i$ -го материала;  $P_{2i}$  – коэффициент удельной скорости выгорания  $i$ -го материала;  $P_{3i}$  – коэффициент удельного выделения  $CO_2$   $i$ -го материала;  $P_{4i}$  – коэффициент удельного выделения  $CO$   $i$ -го материала;  $P_{5i}$  – коэффициент удельного потребления кислорода  $O_2$   $i$ -го материала.

Исходя из принципов данной методики, сформулируем условия выбора материала, представляющего наибольшую опасность в пожарном отношении. С одной стороны, опасность зависит от имеющейся массы материала: чем его больше, тем дольше он будет гореть и тем выше опасность для возгорания других материалов. С другой стороны, существенное значение имеют собственно горючие свойства материала. Можно рассматривать опасность материала по отдельным характеристикам, а можно по их совокупности.

В данном варианте по сочетанию двух факторов материала (массе и горючим свойствам) и будет приниматься решение о наибольшей пожарной опасности материала из группы.

Общий принцип оценки остается единым для всей методики: определение эталонного значения параметра и сравнение каждого параметра с эталонным.

Используем методы шкальных оценок отношений и интервалов. Шкалы интервалов применяются, если нет естественного нуля в шкале измерений. Эта ситуация возникает, когда оценивается не абсолютное значение параметра (например объем  $CO$ ), а относительная величина. Производится процедура приведения параметра к безразмерному виду, отображение в единый интервал от 0 до 1. В результате появляется возможность сравнивать характеристики различной физической природы и размерности.

Общая формула приведения имеет вид

$$Kp = (P_i - P_{min}) / (P_{max} - P_{min})$$

или

$$Kp = (P_{max} - P_i) / (P_{max} - P_{min}),$$

где  $P$  – оцениваемый параметр;  $P_i$  – значение оцениваемого параметра;  $P_{max}$  – максимальное значение оцениваемого параметра (правая граница интервала);  $P_{min}$  – минимальное значение оцениваемого параметра (левая граница интервала);  $Kp$  – приведенное значение параметра (от 0 до 1), коэффициент параметра.

Остановимся на принципах оценки и выбора материала – представителя группы.

Во-первых, частная оценка по паре характеристик. Первой характеристикой является масса материала, второй – одно из его горючих свойств (низшая теплота сгорания, скорость распространения огня и т.п.).

В каждой группе попарно перемножаются два коэффициента: коэффициент массы данного материала (доля от общей массы) и коэффициент одного из горючих свойств. С первым коэффициентом все достаточно просто – это доля массы данного материала относительно массы других материалов. Смысл второго коэффициента заключается в следующем. После нормировки этот коэффициент показывает вес (вклад) данной характеристики в общем объеме опасности по данной характеристике материала, но относительно не общего объема, а объемов других характеристик. Другими словами, это мера опасности данного материала по конкретной характеристике (например по  $CO$ ).

Возникает вопрос: почему в случае массы определяется доля массы материала от общего объема, а в случае горючих характеристик веса – относительно друг друга?

Предлагается такая интерпретация.

Масса – постоянный параметр, заданный изначально. А проявление свойств отдельных горючих характеристик – параметр переменный, зависящий от множества факторов. Появление общего объема (максимально возможного теоретически) маловероятно, поэтому нецелесообразно оценивать долю от этого события. Интерес представляет именно опасность характеристик относительно друг друга независимо от степени развития пожара, то есть некая относительная потенциальная опасность.

Перемножение пары коэффициентов дает общий показатель опасности данного материала ( $i$ -го) по одной из горючих характеристик.

Большее значение результата и позволяет выбрать наиболее опасный материал, но только по одной характеристике.

Например (по СО)  $P_{CO_i} = K_{m_i} * K_{CO_i}$ . Далее для упрощения работы с индексами характеристики будут просто пронумерованы. И вид этой формулы, например для характеристики 4, будет следующий:

$$P_{4_i} = K_{m_i} * K_{4_i} * K_{r_{1i}}$$

где  $P_{4_i}$  – показатель опасности  $i$ -го материала по СО;  $K_{m_i}$  – коэффициент массы материала;  $K_{4_i}$  – коэффициент опасности по СО;  $K_{r_{1i}}$  – коэффициент степени реализации  $i$ -го материала по характеристике СО; 4 – условный индекс характеристики СО (то есть СО и 4 – синонимы).

Индексы характеристик:

- 1 – линейной скорости распространения пламени  $i$ -го материала;
- 2 – удельной скорости выгорания  $i$ -го материала;
- 3 – удельного выделения  $CO_2$   $i$ -го материала;
- 4 – удельного выделения СО;
- 5 – удельного потребления кислорода  $O_2$   $i$ -го материала.

Во-вторых, имея все коэффициенты по всем характеристикам, можно получить общий коэффициент пожарной опасности данного ( $i$ -го) материала в группе:

$$P_i = Q_i * M_i * P_{1i} * P_{2i} * P_{3i} * P_{4i} * P_{5i}$$

где  $P_i$  – общий показатель опасности  $i$ -го материала по всем характеристикам;  $Q_i$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала;  $M_i$  – масса  $i$ -го материала;  $Q_i * M_i$  – источник горючей нагрузки  $i$ -го материала;  $P_{1i}$  – показатель опасности линейной скорости распространения пламени  $i$ -го материала;  $P_{2i}$  – показатель опасности удельной скорости выгорания  $i$ -го материала;  $P_{3i}$  – показатель опасности удельного выделения  $CO_2$   $i$ -го материала;  $P_{4i}$  – показатель опасности удельного выделения СО;  $P_{5i}$  – показатель опасности удельного потребления кислорода  $O_2$   $i$ -го материала.

Наибольшее значение результата  $P_i$  и позволяет сделать выбор наиболее опасного по всем характеристикам материала – представителя группы материалов.

Рассмотрим методику формирования коэффициентов (для всех вариантов методики).

В варианте 1 эта оценка не требуется, так как вместо коэффициента в формулу оценки входит непосредственно масса материала. В других вариантах методики будет использоваться не сама масса, а ее коэффициент.

Вся масса материалов принимается за единицу. Массы всех материалов соответственно будут представлять собой доли от единицы и лежать в пределах от 0 (материала нет) до 1 (материал единственный).

Так как масса измеряется по шкале отношений, формула расчета коэффициента массы ( $K_m$ ) является тривиальной.

Обозначим общую массу всех материалов  $M$ . Масса  $i$ -го материала –  $M_i$ . Рассмотрим удельную пожарную нагрузку (масса, отнесенная к площади).

Тогда поправочный коэффициент массы  $K_{m_i}$  определяется по формуле

$$K_{m_i} = M_i / M,$$

$$\sum K_{m_i} = 1 \text{ (но только в случае массы).}$$

Сформулируем оценку характеристики «низшая теплота сгорания» (МДж/кг). Обозначим ее как  $Q$ .

В варианте 1 эта оценка не требуется, так как вместо коэффициента в формулу оценки входит непосредственно низшая теплота сгорания материала. В других вариантах методики будет использоваться не сама характеристика, а ее коэффициент.

В данном случае эта характеристика нормируется по общему правилу, так как здесь производится оценка пожарной опасности характеристики, а не горючая нагрузка:

$$K_q = (Q_i - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min}),$$

где  $K_q$  – коэффициент низшей теплоты сгорания, приведенное значение параметра от 0 до 1;  $Q_i$  – значение низшей теплоты сгорания  $i$ -го материала в группе;  $Q_{\max}$  – максимальное значение низшей теплоты сгорания какого-либо материала в группе;  $Q_{\min}$  – минимальное значение низшей теплоты сгорания какого-либо материала в группе.

Сформулируем приведенный коэффициент пожарной опасности  $P_q$ :

$$P_q = K_q * K_m,$$

где  $K_m$  – массовый коэффициент данного материала.

Сформулируем оценку характеристики «линейная скорость распространения пламени» ( $V_{лс}$ , м/с):

$$K_{1i} = (V_{\max} - V_i) / (V_{\max} - V_{\min}),$$

где  $K_{1i}$  – коэффициент линейной скорости распространения пламени  $i$ -го материала;  $V_{\max}$  – максимальная линейная скорость распространения пламени какого-либо материала в группе;  $V_{\min}$  – минимальная линейная скорость распространения пламени какого-либо материала в группе;  $V_i$  – линейная скорость распространения пламени  $i$ -го материала.

Аналогично определяются оценки других характеристик:

- $P_{2i}$  – приведенный коэффициент удельной скорости выгорания;
- $P_{3i}$  – приведенный коэффициент удельного выделения  $CO_2$ ;
- $P_{4i}$  – приведенный коэффициент удельного выделения  $CO$ ;
- $P_{5i}$  – приведенный коэффициент удельного потребления  $O_2$ .

В данной методике учет дополнительных особенностей пожарной ситуации производится с помощью соответствующего поправочного коэффициента.

Кроме этого, несложно учитывать и оперативное изменение обстановки, например, повреждение помещений или выход из строя каких-либо систем защиты. Просто соответствующий поправочный коэффициент принимается равным 1, то есть по этой характеристике нет ограничений на ее потенциальную опасность.

Сформулируем поправочные коэффициенты учета степени реализации каждой характеристики ( $Kr$ ).

Предлагаемая модель (вариант 1) измерения пожарной опасности основана на том, что выделяется главный фактор этой опасности (горючая нагрузка), она формулируется как эталон оценки при самом неблагоприятном сочетании других факторов. Эти факторы в виде характеристик в реальном исполнении могут иметь разную степень реализации опасности. Степень реализации каждой характеристики может влиять на показатели горючей нагрузки только в сторону уменьшения пожарной опасности. То есть эталонная модель создается уже с учетом того, что все характеристики имеют самое плохое исполнение: бензин разлит по полу, персонал бросает окурки на пол, свежий ветер дует в окно и т.п.

Если реализация противопожарной ситуации создает условия, затрудняющие исполнение всех сторон пожарного треугольника (кислород, тепло, топливо), то это должно найти отражение в соответствующем поправочном коэффициенте реализации. То есть горючая нагрузка (или ее часть) умножается на коэффициент от 0 до 1.

Возможны следующие граничные условия.

1. Если ограничений для конкретной характеристики нет, то поправочный коэффициент равен 1 и влияние этой характеристики на горючую нагрузку можно не учитывать: загорится и будет гореть с максимальной интенсивностью.

2. Если приняты максимальные меры пожарной безопасности, то поправочный коэффициент равен 0. Это обнуляет часть горючей нагрузки (на которую влияет данная характеристика), и в пожаре эта нагрузка не участвует.

3. Все остальные варианты реализации характеристик находят отражение в поправочном коэффициенте в интервале от 0 до 1. Например, бензин хранится в канистре, но доступ к самой канистре не ограничен. Вероятно, что в данном случае опасность меньше, чем при открытом хранении бензина, но исключать из рассмотрения горючую нагрузку бензина нельзя. Тогда целесообразно присвоить значение поправочного коэффициента 0,5. В данном случае смысл этой поправки следующий. Опасность горючей нагрузки от бензина не уменьшилась, но будет отложена на некоторое время. Именно эту степень отложенности и учитывает поправочный коэффициент.

В других случаях смысл поправочных коэффициентов будет иным. Например, несколько медленнее горение, меньшее выделение вредных газов, затруднение доступа кислорода и т.п.

Но общий смысл в оценке один – горючая нагрузка будет уменьшаться. Степень уменьшения определяется противопожарными мерами и отображается на интервале от 0 до 1.

Допускается произвольное число градаций поправочных коэффициентов. Минимально возможное – 3 значения (2 интервала): 0; 0,5; 1.

Большое число интервалов определяется возможностью получения существенно отличающихся исходных данных. То есть, если сформулировать ситуацию, при которой можно утверждать: «очень плохо» «плохо», «удовлетворительно», «хорошо», «очень хорошо», «отлично» и т.п. относительно влияния характеристики на горючую нагрузку, то число интервалов может быть и больше двух.

Возможность точного расчета значений отдельных характеристик не должна смущать при отнесении этого значения на шкалу интервалов.

Во-первых, точность в данном случае – понятие условное. Если иметь в виду грубость исходных данных, то точность алгоритма расчета не приводит к точности результата (а скорее, наоборот).

Во-вторых, в реальности абсолютно независимых характеристик нет, а влияние характеристик друг на друга оценить крайне сложно, что тоже влияет на снижение точности расчетов.

В-третьих, использование в алгоритмах одновременно грубых и точных данных приведет к потере устойчивости системы оценки в целом. На выходе будут получаться разнообразные и неадекватные результаты.

Поэтому целесообразно приводить все исходные данные к некоторой степени грубости, чтобы не получить сильного разброса конечных результатов расчета. То есть любое значение характеристики, получаемое или рассчитанное, должно быть отнесено на один из интервалов поправочного коэффициента.

Рассмотрим пример расчета данного коэффициента.

Поправочный коэффициент ( $Kr_1$ ) – линейная скорость распространения пламени ( $V_{лс}$ , м/с).

Скорость распространения пламени – расстояние, пройденное фронтом пламени в единицу времени по горючей газопаровоздушной смеси в данном направлении.

Значение величины нормальной скорости распространения пламени лежит, как правило, в диапазоне от 0,03 до 15,00 м/с и зависит от состава смеси (горючее – окислитель), температуры паровоздушной смеси и других факторов (газодинамических и т.п.).

Скорость распространения пламени по поверхности горючего материала зависит от агрегатного состояния, теплофизических свойств, плотности распределения в пространстве и сечения элементов пожарной нагрузки (мебели, горючих конструкций, различных складываемых материалов).

Линейная скорость распространения пламени твердых веществ зависит также от их горизонтального или вертикального положения в пространстве (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент	Условия линейной скорости распространения пламени			
	Распространение пламени невозможно	Распространение пламени сильно ограничено	Распространение пламени слабо ограничено	Распространение пламени ничем не ограничено
$Kr_1$	0	0,3	0,7	1,0

Поправочный коэффициент реализации ( $Kr_2$ ) – удельная скорость выгорания ( $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$ ).

Скорость выгорания – потеря массы веществ и материалов в единицу времени при горении.

Удельная массовая скорость выгорания (табл. 2) – масса жидкой или твердой горючей технологической среды, сгорающей в единицу времени с единицы площади,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Массовая скорость выгорания зависит от многих условий, в частности:

- агрегатное состояние вещества;
- химический состав;
- начальная температура;
- интенсивность и площадь испарения (для жидкостей);
- геометрические размеры и способ укладки (для твердых горючих материалов);
- размеров поверхности, доступной для горения;
- наличие окислителя в окружающей среде.

Таблица 2

Коэффициент	Условия скорости выгорания			
	Выгорание невозможно	Меры приняты, но процесс выгорания полностью не исключен	Приняты минимально возможные меры	Выгорание ничем не ограничено
$Kr_2$	0	0,4	0,8	1,0

Аналогично определяются и другие поправочные коэффициенты реализации характеристик.

Реальная ситуация с пожарной и горючей нагрузкой может отличаться от модельной, но общий подход к оценке сохраняется. В данной модели опущены многие характеристики, которые не представляются достаточно значимыми для ой ситуации. Но в общем случае можно учесть и другие факторы и характеристики, введя дополнительные поправочные коэффициенты. Например, расположение пожарной нагрузки, конфигурация помещений, подготовленность персонала и т.п.

Итоговый расчет пожарной опасности производится по общей формуле расчета пожарной опасности путем подстановки значений параметров и коэффициентов.

Рассмотрим **вариант 2** методики (более общий случай) – подсчет суммарной опасности по нескольким независимым факторам.

Сделаем следующие допущения и предположения.

Если в первом варианте предполагалось наличие одного (главного) фактора опасности, то в более общем случае предполагается, что любой фактор пожарной опасности может выйти на первое место в зависимости от конкретной ситуации. Например, при небольшой пожарной нагрузке и наличии большого числа людей выделение вредных газов может быть определяющим фактором. Возможны и другие ситуации, определяемые конструкцией помещений, условиями пребывания персонала и т.п., когда степень опасности отдельных факторов будет меняться даже по субъективной оценке или административным требованиям.

В общем случае степень вредности факторов относительно друг друга также может меняться произвольно, то есть нельзя заранее точно установить порядок и степень вредности факторов. При изменении ситуации или требований порядок и степень могут меняться.

Предполагается, что оценить порядок и субъективную оценку вредности факторов (относительно друг друга) может эксперт в соответствии со сложившейся обстановкой и поставленными задачами.

Расчет собственно опасности каждого фактора (характеристики) производится, как и в варианте 1 методики.

Суть методики (вариант 2) заключается в отображении на числовую шкалу объективных и субъективных оценок как эталонной (наихудшей) пожарной ситуации, так и ситуации в реальном исполнении.

Шкала оценки строится следующим образом.

1. Ранжируются все характеристики (факторы) исходя из поставленной задачи.

2. Производится субъективная оценка степени вредности характеристик по числовой шкале произвольного интервала (например от 0 до 100) и по алгоритмам уточнения предпочтений. Обозначим этот показатель через  $W$ .

3. Выбираются материалы – представители групп (по варианту 1 методики).

4. Производится оценка опасности каждой характеристики по ее физической сущности, с нормированием на 1, то есть преобразование в коэффициент от 0 до 1, по варианту 1 методики:

$$Kp = (Pi - Pmin) / (Pmax - Pmin)$$

и с учетом ее массовой составляющей:

$$Пn_i = Km_i * Kn_i.$$

То есть оцениваются как сама опасность, так и массовая нагрузка, где  $Пn_i$  – показатель пожарной опасности  $i$ -го материала  $n$ -й характеристики;  $Km_i$  – коэффициент массы  $i$ -го материала, (0,1);  $Kn_i$  – коэффициент пожарной опасности  $i$ -го материала, (0,1).

5. Производится оценка степени реализации каждой характеристики (как в варианте 1).

$Krn_i$  – коэффициент реализации  $i$ -го материала  $n$ -й характеристики, (0,1).

6. Строится общая таблица (табл. 3).

Таблица 3

№	Характеристика	Субъективная оценка максимальной вредности, $W$ (0–100)	Коэффициент опасности $K$ (0,1)	Коэффициент массы $Km$ (0,1)	Коэффициент реализации $Kr$ (0,1)	Реальная оценка вредности $\Pi$ (0–100)
1	СО	100	0,9	0,01	0,5	4,5
2	Q	80	1	0,4	0,5	16
.						
.						
.						
6	Итог ( $\Pi$ )	360				58

7. Общая формула оценки:

$$\Pi = \sum W * K * Km * Kr.$$

Числа в табл. 3 и формуле приведены для примера и не являются расчетными, индексы опущены.

Субъективная оценка вредности характеристики – это абстрактное число, показывающее вредность характеристики относительно других. Оценки не должны противоречить рангу характеристики. Для этого есть методики уточнения предпочтений. Это показатель максимальной опасности данной характеристики без учета других факторов и условий.

Коэффициент опасности характеристики – это табличное значение физического значения характеристики, пронормированное на интервал от 0 до 1 относительно значений других характеристик (для выбранного представителя группы материалов).

Показатель опасности характеристики в реальном исполнении вычисляется перемножением значений субъективной оценки и всех коэффициентов. Получается абстрактное число, показывающее относительное снижение опасности характеристики за счет противопожарных мероприятий.

Итоговый результат не является статичным, он лишь отражает состояние пожарной опасности в каком-либо исполнении. Можно получать множество вариантов исполнений (с разными оценками), меняя условия реализации характеристик. Выбор варианта производится при минимальном значении показателя пожарной опасности. При этом совершенно очевидны необходимые мероприятия по усилению пожарной безопасности.

Абстрактность числовой оценки не должна смущать. На самом деле важны не объемы вредных газов или температуры, а именно ответ на вопрос о степени опасности, даже если опасность выражена в абстрактных единицах.

Поэтому ценным здесь является не только полученный результат оценки, но и сама процедура построения шкалы, дающая ответы на многие вопросы.

Далее полученную абстрактную оценку можно соотнести с какими-либо реальными параметрами. Например, отнесение помещения к определенной категории пожарной опасности или к стоимости противопожарных мер (вариант 3 методики).

Методика варианта 2 может быть модифицирована в сторону более детального учета состава материалов. Для этого вместо абстрактной вредности можно использовать физическое значение какой-либо характеристики (эталонная вредность), а в качестве параметров (строк таблицы) – материалы (или их представители). Задача будет сводиться к оценке и подбору материалов для минимизации вредности от какой-либо горючей характеристики.

Тогда для каждого фактора (характеристики) строится своя шкала оценки со своими внутренними характеристиками (материалами, условиями), а затем эти факторы сворачиваются методами факторного анализа или более общей шкалой оценки.

**Вариант 3.** Оценка и анализ с учетом цены реализации противопожарных мероприятий.

Это небольшая модификация варианта 2. Здесь предполагается добавление еще одного столбца – стоимость мер по снижению пожарной опасности характеристики. А вместо абсолютного значения вредности характеристики ставится относительная вредность (0,1). Тогда получаемая оценка будет иметь размерность в рублях. И можно будет получить ответы на вопросы: сколько стоит данный вариант противопожарных мер и как вписать противопожарные меры в заданный бюджет.

**Вариант 4.** Оценка и анализ с учетом взаимного влияния характеристик.

Первые три варианта исходили из предположения, что горючие характеристики проявляются независимо друг от друга и общий вред можно получить суммированием их значений.

Но по этой же методике можно получить и учет компенсации от взаимного влияния характеристик. При этом будет строиться не аддитивная, а мультипликативная модель оценки. Объем предварительной экспертной работы резко возрастет.

Вопрос о выборе подхода определяется следующим соотношением: повышение точности – стоимость повышения точности модели.

Подводя итоги, отметим, что в статье предлагается подход к оценке пожарной опасности с применением теории полезности. Этот подход целесообразно применять при переходе на автоматические распределенные системы пожаротушения.

В основе подхода лежит количественная оценка пожароопасных факторов, имеющих не только количественную, но качественную природу. При оценке используются субъективные оценки экспертов как пожарной опасности самих материалов, так и возможных пожарных ситуаций.

На основе предложенного подхода можно решать разные задачи, связанные с проектированием пожарных систем, конструированием объектов, с оценкой существующих объектов и другие.

### *Литература*

1. Абдурахимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Изд-во ВИПШ МВД СССР, 1980.
2. Рекомендации по оптимизации действия систем пожаротушения, дымоудаления и вентиляции при пожарах. М., 2005.
3. СПН-1. Справочник по пожарной нагрузке. Екатеринбург: Изд-во СИТИС, 2014.
4. Шебеко Ю.Н., Смолин И.М., Молчадский И.С. [и др.]. Пособие по применению НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности при рассмотрении проектно-сметной документации. М.: Изд-во ВНИИПО, 1998. 119 с.
5. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Изд-во Акад. ГПС МВД России, 2000. 118 с.
6. ТР-5044 Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников. Екатеринбург: Изд-во СИТИС, 2009. 82 с.
7. Абашкин А.А., Карпов А.В., Ушаков Д.В., Фомин М.В., Гилетич А.Н., Комков П.М.. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: Изд-во ВНИИПО, 2012. 83 с.
8. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения; [пер. с англ.]. М.: Радио и связь, 1981.