

---

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

---

---

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АГРЕГИРОВАНИЯ ЧАСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

**А.С. Смирнов, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Установлено, что система показателей противопожарного состояния (ППС) отдельных структурных подразделений и подсистем опасных производственных объектов (ОПО) содержит очень большое число взаимосвязанных частных показателей, что делает весьма трудоемким их прямое исследование. Показано, что для принятия решения о степени соответствия уровня ППС ОПО требуемому значению необходимо произвести агрегирование этих показателей. Представлены концептуальные основы агрегирования частных показателей уровня ППС ОПО.

*Ключевые слова:* противопожарное состояние, опасные производственные объекты, агрегирование частных показателей, интегральный показатель

## CONCEPTUAL BASICS OF AGGREGATION OF SPECIAL LEVEL INDICATORS OF THE FIRE CONDITION OF RISKY INDUSTRIAL BUILDINGS

**A.S. Smirnov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

It is found that the system of indicators of fire condition (FC) of several structural units and subsystems of risky industrial buildings (RIB) contains a very large number of interrelated special indicators. So it is very laborious to study it directly. It is shown that to prove the accordance of level of FC RIB with required value it is necessary to make the aggregation of these indicators. There are conceptual basics of aggregation of special level indicators of FC RIB.

*Key words:* fire condition, risky industrial buildings, aggregation of special level indicators, integral indicator

В ходе проведенных исследований [1] установлено и обосновано, что функционирование опасных производственных объектов в условиях динамического изменения параметров социальной среды и техносферы требует систематического мониторинга их уровня противопожарного состояния для своевременного формирования соответствующих управляющих воздействий по его повышению.

Среди требований системного подхода к методам исследования ППС ОПО, функционирующих в условиях динамического изменения параметров среды функционирования, можно отметить необходимость многоуровневого иерархического представления и анализа ОПО, множественности морфологических описаний входящих в

них подсистем, имеющих одинаковые функциональные состояния, сочетание количественных и качественных методов оценивания влияния полифакторной среды функционирования и т.д. Сложность системного анализа ППС ОПО заключается как в слабой формализации данной предметной области, связанной с отсутствием адекватного математического аппарата, так и в нечетком представлении ограниченного объема данных об уровне ППС входящих в них подсистем и подразделений.

Система показателей ППС ОПО, даже в «усеченном» виде, содержит очень большое число взаимосвязанных переменных (частных показателей уровня ППС ОПО, показателей ППС отдельных подсистем и подразделений ОПО и т.п.). Их прямое исследование весьма трудоемко [1–3]. Поэтому для принятия решения о степени соответствия уровня ППС ОПО заданному уровню целесообразно произвести агрегирование известных характеристик, в результате которого массив параметров, характеризующих уровень ППС отдельных структурных подразделений ОПО, может быть сведен к небольшому числу обобщенных (агрегированных, интегральных) показателей ППС ОПО. Как правило, обобщенные интегральные показатели объединяют только те параметры, которые характеризуют вполне конкретные свойства ОПО. В ряде случаев окончательный вывод об уровне ППС ОПО может быть сделан лишь после многократной свертки частных показателей объекта или его отдельных компонентов. Поэтому задача оценивания не поддающегося непосредственному измерению интегрального показателя ППС ОПО по заданным значениям частных критериальных характеристик может рассматриваться как задача снижения размерности исследуемого признакового пространства  $\Pi^{(p)}(x)$  до единицы. Эта же задача может быть сформулирована в терминах построения целевой функции анализируемого обобщенного свойства ОПО.

Целевой функцией исследуемого обобщенного свойства ОПО, определяемого значениями  $x^{(1)}, \dots, x^{(p)}$  частных критериальных характеристик, будем называть любое преобразование  $f(x^{(1)}, \dots, x^{(p)})$ , сохраняющее заданное соотношение порядка между анализируемыми состояниями ОПО, характеристики которых относительно хорошо известны экспертам или определены в ходе эксплуатации, и обладающее тем свойством, что из  $W_1 > \dots > W_i > \dots > W_n$  ( $W_i$  - уровень ППС, соответствующий  $i$ -му состоянию ОПО) с необходимостью следует  $f(x_1) > f(x_2) > \dots > f(x_n)$  и наоборот.

Известные методы агрегирования исходных параметров, развитые к настоящему времени, многочисленны и разнообразны.

Наиболее простым способом решения этой задачи является применение экспериментальных методов удельных весов агрегируемых параметров ОПО. Несмотря на их ограниченность, они широко используются вследствие своей простоты и доступности для анализа ППС ОПО.

Вместе с тем разнообразные характеристики, определяющие ППС ОПО в различных условиях обстановки и взаимодействия с внешней средой, обладают рядом особенностей, не позволяющих в большинстве случаев использовать традиционные процедуры оценивания интегрального показателя ППС, реализуемые в рамках многомерного шкалирования, кластерного, дискриминантного и других методов анализа. К этим особенностям прежде всего следует отнести:

а) нечеткость оценок как самих исходных параметров ОПО, особенно для долгосрочного прогнозирования, так и характера их влияния на ППС объекта;

б) многомерный, разнородный характер агрегируемых параметров ОПО, выражаемых в общем виде множествами количественных и качественных оценок, строковыми образами, логическими конструкциями, предложениями естественного языка и т.п.;

в) иерархический или матричный характер взаимосвязи агрегируемых параметров в оценках уровня ППС отдельных компонентов ОПО.

Прямым следствием указанных особенностей является нечеткость сравнительных оценок состояния ОПО по анализируемому интегральному свойству.

Выбор номенклатуры частных показателей, характеризующих ППС ОПО и отдельных компонентов, определяется двумя требованиями [1, 3]. Во-первых, описание морфологических характеристик объекта должно быть достаточно подробным и позволять анализировать влияние ППС всех основных подсистем и подразделений на обобщенный показатель уровня ППС ОПО в целом. Во-вторых, модель для оценивания ППС ОПО должна быть достаточно простой, унифицированной и доступной для широкого круга исследователей, не имеющих специальной подготовки для ее использования. Таким образом, при выборе состава параметров, характеризующих ППС ОПО и отдельных компонентов, необходимо найти некоторый компромисс (рациональность между стремлением к точности моделирования ОПО в различных условиях обстановки и простотой реализуемой при этом модели). Принятие решения о рациональном составе анализируемых частных показателей может базироваться на определении условий согласования отношений предпочтения параметров объекта на различных уровнях иерархии описания его ППС. Принципы подобного подхода к задачам оценивания состояния сложных систем известны и изложены в работах [2, 3, 5]. Однако их использование для получения оценки уровня ППС ОПО не представляется возможным без определенных допущений вследствие нечеткости исходной информации о частных показателях ППС отдельных подсистем ОПО и характера их взаимодействия.

Предлагаемая ниже методика агрегирования показателей уровня ППС исследуемого класса объектов позволяет учесть и в значительной степени компенсировать указанные недостатки существующего научно-методического аппарата.

Будем полагать, что интегральная характеристика ППС ОПО имеет иерархическую структуру (рис.1), а составляющие компоненты образуют критериальное пространство.

Исследуем агрегированные нечеткие показатели ППС компонентов ОПО первого уровня. Для этого воспользуемся принципом обобщения. Обозначим через  $x(1) \in X_1$  интегральные показатели первого уровня, а соответствующие им частные показатели через  $x(0) \in X_0$ .

Здесь  $x = \{x(1) = f_1(x(0)) \mid x(0) \in X_0\} \subset f_1(x_i), X_1 \in \mathbb{E}^{n_1}$ , где  $n_1$  – количество первичных показателей, относящихся к первому уровню, аналогично  $X_0 \in \mathbb{E}^{n_0}$ .

Поскольку  $n_1 < n_0$ , то есть размерность вектора показателей состояния стала меньше, то  $x(1)$  дает более целостное, чем  $x(0)$ , представление об уровне развития групповой структуры. Ясно, что  $f_1, X_1$  должны быть определенным образом согласованы с  $x(0), X_0$ .

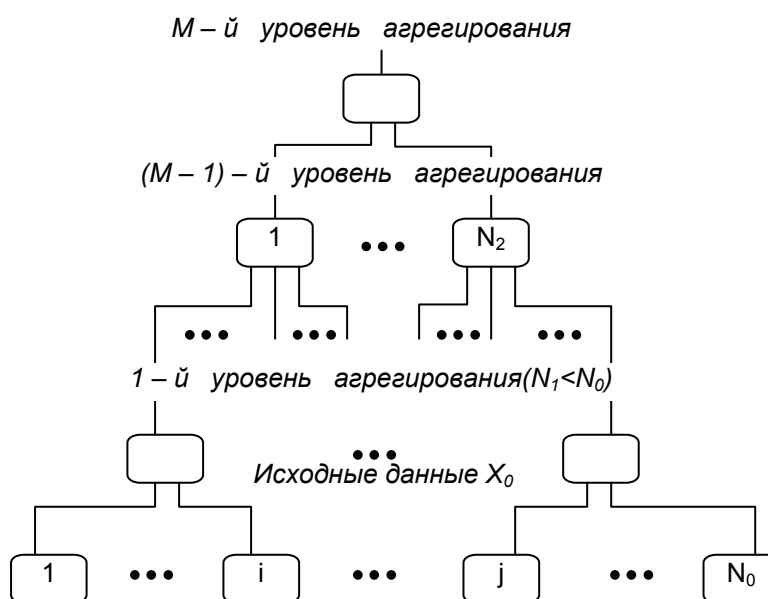


Рис.1. Агрегирование частных показателей

Применяя принцип обобщения и учитывая нечеткость исходной информации, функции принадлежности нечеткого отображения интегральных показателей первого уровня для каждого из частных показателей предпочтения будут:

$$\mu^{(x(1))} (x_{10}, \dots, x_{n_0}, x(1));$$

$$\mu(x(1)) = \sup_{(x_{10}, \dots, x_{n_0}) \in X_0} \min \{ \mu_{10}(x_{10}), \dots, \mu_{n_0}(x_{n_0}) \}, \quad (1)$$

где  $\mu^{(x(1))} (\cdot)$  – есть функция принадлежности частного показателя предпочтения при характеристиках, описываемых вектором  $\{x_{10}, \dots, x_{n_0}\} = x(0)$ ;  $X_1 = \{x(1) = f_1(x(0)) \mid x(0) \in X_0\}$  – нечеткий образ  $X_0$ .

Отображение  $f_1(x(0))$  определяет структуру преобразований исходных данных об ППС объекта, входящего в частный показатель предпочтения первого уровня.

Процесс агрегирования оценок ППС компонентов ОПО можно продолжить далее, в результате чего получим следующую цепочку:

$$x(0) \in X_0 \subseteq E^{n_0}, \quad \mu(x(0)) \in E^{N_0}; \quad x(1) = f_1(x(0)) \in X_1 \subseteq E^{n_1},$$

$$n_1 < n_0, \quad \mu(x(1)) \in E^{N_1};$$

.....

$$x(k+1) = f_{k+1}(x(k)) \in X_{k+1} \subseteq E^{n_{k+1}}, \quad (2)$$

$$n_{k+1} < n_k, \quad \mu(x(k+1)) \in E^{N_{k+1}};$$

... ..

$$x(m) = f_m(x(m-1)) \in X_m \subseteq E^{n_m}, \quad n_m < n_{m-1}, \quad \mu(x(m)) \in E^{N_m}.$$

Здесь, как и выше,  $X(k+1) = f_{k+1}(x(k)) = x(k+1) = f_{k+1}(x(k)) \ni x(k) \in X_k$ . Как видно из (2), увеличение числа  $m$  ступеней агрегирования интегрального показателя требует конкретизации отображений на каждом этапе агрегирования интегрального показателя, что связано, как правило, с необходимостью учета более тонкой структуры совокупности частных показателей ППС ОПО, а следовательно, с усложнением и с ростом ошибочных представлений о ППС из-за нечеткости исходных данных. С этой точки зрения желательно уменьшить число уровней агрегирования оценок ППС ОПО, однако при этом возрастает возможность ошибки при переходе от описания модели в одних условиях к другим, сильно отличающимся. В связи с наличием нечеткости исходных данных и результатов их свертки переход от одной ступени агрегирования частных показателей ППС подсистем и подразделений ОПО к другой неоднозначен. Поэтому реализация хотя бы одного варианта агрегирования требует значительных временных затрат экспертов, обладающих знаниями об особенностях ППС отдельных компонентов ОПО в конкретных условиях их практического применения. Суть деятельности экспертов в этом случае сводится к тому, что на каждом уровне агрегирования характеристик объекта ими определяются отношения предпочтения во множестве полученных значений частных оценок ППС ОПО. По своему содержанию

указанные отношения предпочтения в оценках ППС ОПО являются нечеткими и не должны вступать в противоречие с исходными параметрами для данного уровня анализа интегральных свойств объекта.

Таким образом, возникает задача согласования отношений предпочтения при агрегировании показателей ППС компонентов ОПО на множестве частных оценок их интегральных характеристик.

В общем случае формальная постановка задачи агрегирования частных показателей уровня противопожарного состояния опасных производственных объектов может быть представлена следующим образом.

Пусть результаты измерения некоторых показателей  $x_j, \{j = \overline{1, n}\}$  связанных с оценками ППС компонентов ОПО в различных условиях обстановки  $E = \{E_r, r = \overline{1, m}\}$ , сведены в матрицу данных  $X = \|x_{rj}\|_{[m,n]}$ , где  $n$  – количество групп показателей в матрице данных,  $m$  – количество измерений исследуемых показателей. Будем считать множество  $E$  выборкой статистических данных ограниченного объема из генеральной совокупности частных показателей ППС основных компонентов ОПО, для которых известна степень выраженности значения уровня ППС ОПО в целом, обладающая некоторыми вероятностными свойствами. Назовем множество  $E$  обучающей выборкой. Практические исследования показывают, что однозначно утверждение о принадлежности обучающей выборке к генеральной совокупности в виду ее малого объема оказывается не всегда корректным. Поэтому будем считать, что показатели  $x_{rj}$  в общем случае измеряются нечетко и, следовательно, каждому показателю  $x_{rj}$  можно поставить в соответствие функцию принадлежности  $\mu_{rj}(x_{rj})$ . Обозначим  $\mu = \|\mu_{rj}(x_{rj})\|$ .

Таким образом, результатам оценки частных показателей ППС компонентов ОПО в конкретных условиях обстановки, представляемых вектор-строкой  $x_r$  матрицы  $X$ , ставится в соответствие вектор-строка  $\mu_r$  матрицы  $\mu$ . При этом  $x_r \in \mathbb{R}^n$ , где  $\mathbb{R}^n$  –  $n$ -мерное векторное пространство координат, координатные оси которого соответствуют исходным (частным) показателям ППС компонентов ОПО  $x_j (j = \overline{1, n})$ .

Требуется синтезировать алгоритм  $A$ , позволяющий на основании анализа и обработки данных сформированной обучающей выборки получать аналитическую модель обобщенного агрегированного показателя вида  $W=f(x)$  ( $f(x) \in F$ , где  $F$  – заданное множество функций), обеспечивающую классификацию и оценивание уровня ППС ОПО, функционирующего в условиях динамичного изменения параметров социальной среды и техносферы.

Показатель  $W$  называется шкалой. Шкала  $W$  определяет соотношение между интегральными характеристиками ППС ОПО в конкретных условиях обстановки из множества  $E$ . Предполагается, что эти отношения оцениваются при помощи числовой функции, отражающей совокупность всех пар взаимных оценок состояния ОПО из обучающей выборке в матрицу коэффициентов связи между ними. Далее эта матрица определяется как матрица парных отношений  $Q$ .

Обозначим через  $W = (W_1, \dots, W_m)$  вектор значений шкалы оценок уровня ППС ОПО из множества  $E$  и определим функцию  $G(W_r, W_k)$  двух переменных, порождающую на любой допустимой шкале  $f(x) \in F$  аппроксимирующее парное отношение вида:  $d_{rk}(f) = G(f(x_r), f(x_k))$ ,  $x_r, x_k \in \mathbb{R}^n$ . Введем матрицу  $D = \|d_{rk}(f)\|_{[m,n]}$ . Кроме того, предположим, что на  $E$  определено аппроксимируемое парное отношение  $Q_s = \|q_{rk}\|_{[m,n]}$  и задан функционал  $J(Q, D)$ , оценивающий близость  $Q$  и  $D$ . Проведенный анализ показал, что в качестве такого функционала наиболее целесообразно использовать выражение вида:

$$J(Q, D) = \sum_{r, k} (q_{rk} - d_{rk}(f))^2.$$

В этом случае задача синтеза алгоритма агрегирования частных показателей ППС основных компонентов ОПО состоит в том, чтобы среди допустимых шкал измерения интегральной оценки уровня ППС ОПО  $f(x) \in \mathcal{F}$  найти такую, которая бы обращала в минимум функционал  $J(Q,D)$ :

$$J(Q, D) = \sum_{r, k} (q_{rk} - d_{rk}(f))^2 \rightarrow \min_{f(x) \in \mathcal{F}} \rightarrow W^*$$

и позволяла бы классифицировать и оценивать уровень ППС ОПО по совокупности частных показателей, не входящих в обучающую выборку.

При этом синтезируемый алгоритм  $A$  должен удовлетворять ограничению:

$$P\{J(Q, D) \rightarrow \min_{f(x) \in \mathcal{F}}; A(X, \mu)\} \leq P_{\text{доп}},$$

где  $P$  – функционал потерь на идентификацию, то есть на решение задачи  $J(Q,D) \rightarrow \min$  с помощью алгоритма  $A(X, \mu)$ ;  $P_{\text{доп}}$  – задаваемые допустимые потери на идентификацию.

В качестве задаваемых потерь на идентификацию может использоваться время или стоимость решения задачи идентификации, сложность ее программной реализации, сложность формирования достоверной обучающей выборки для исследуемого ОПО и т.п. В конкретном случае под потерями на идентификацию будем понимать совокупное время и затраты на формирование достоверной обучающей выборки и построение с помощью алгоритма  $A(X, \mu)$  модели обобщенного агрегированного показателя уровня ППС ОПО вида  $W=f(x)$ .

Представленные концептуальные основы агрегирования частных показателей могут быть использованы в рамках единого диагностического комплекса, предназначенного как для текущего оценивания уровня ППС ОПО в конкретных условиях обстановки, так и его перспективного прогнозирования с учетом изменения параметров социальной среды и техносферы.

### Литература

1. Актерский Ю.Е., Смирнов А.С., Бирюков М.С. Диагностика и прогнозирование противопожарного состояния опасных производственных объектов в условиях динамического изменения параметров среды функционирования: монография / под ред. В.С. Артамонова. СПб.: СПб ун-т ГПС МЧС России, 2007.
2. Авен П.О. Построение интегрального показателя в критериальном пространстве // Автоматика и телемеханика. 1985. № 4.
3. Орловский С.А. Проблемы принятия решения при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 212 с.
4. Основы организации и ведения гражданской обороны в современных условиях / под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: Деловой экспресс, 2005. 213 с.
5. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ // Безопасность труда в промышленности. 2003. № 1.