

# **АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ**

**А.В. Фомин, кандидат технических наук, профессор;  
В.П. Мочалов.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматриваются вопросы управления пожарной безопасностью объектов защиты, экспертные методы прогноза внешних воздействий, основные методы многоцелевой оптимизации.

*Ключевые слова:* управление, пожарная безопасность, объект защиты

## **ANALYSIS OF METHODS OF CONTROL OF FIRE SAFETY OF PROTECTION OBJECTS**

**A.V. Fomin, V.P. Mochalov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

Questions of management by a fire security of objects of protection, expert methods of the forecast of external influences, the basic methods of multipurpose optimization are considered.

*Key words:* management, fire safety, object protection

Обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших функций государства, которая осуществляется системой обеспечения пожарной безопасности, объединяющая различные структуры для выполнения определенных функций [1]. К ним относятся государственный контроль и надзор, ведомственный контроль за обеспечением пожарной безопасности, внутренний контроль организаций, система экспертизы пожарной безопасности, система подготовки и аттестации персонала в области пожарной безопасности, система сертификации технических устройств систем противопожарной защиты, система страхования риска ответственности за причинение вреда при эксплуатации объектов и другие. Взаимодействие всех систем осуществляется через систему государственного контроля и надзора.

Проблема повышения эффективности управления пожарной безопасностью (далее – УПБ) и повышения точности и достоверности прогнозов пожаров и чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) является актуальной для принятия решений в процессе УПБ.

УПБ на объектах защиты осуществляют по комплексным показателям безопасности (степени пожарного риска, уровню безопасности и др.) с учётом экономического фактора (выгоды затрат на предотвращение или снижение ущерба при пожарах или чрезвычайных ситуациях) на основе прогноза в условиях стохастической и/или нечёткой неопределённости.

В процессе УПБ объекта приходится учитывать фактор запаздывания управляющего воздействия вследствие затрат времени на принятие и передачу решения, а также на преодоление инерционности системы при реализации решения. При УПБ объекта не приемлемы методы последовательного анализа по реакции системы на управляющее воздействие, так как инициация аварий для настройки системы не допустима. Возможен только прогноз. Эти особенности УПБ необходимо учитывать при прогнозе поведения системы и принятии решений при УПБ объекта.

Научной основой УПБ объекта служат модели и методы, детально разработанной и апробированной общей теории управления случайными процессами.

Эта общая теория основана на следующих классических теориях:

– детерминистической теории оптимального управления (теории систем с управлением, вариационном исчислении, математическом программировании, принципе максимума Понтрягина);

– теории случайных процессов (теории марковских процессов, теории нестационарных гауссовских процессов, теории корреляционного и других видов многомерного анализа статистически устойчивых закономерностей);

– многомерной математической статистике (теории оценок, теории связей и теории структур).

Кроме того, она использует некоторые методы других наук:

прогностики (фактографические и экспертные методы, методы верификации);

исследования операций (методы теорий запасов, игр, массового обслуживания и др.);

математического программирования (методы линейного, динамического, стохастического программирования и др.);

квалиметрии (методы количественной оценки качества);

экономической логистики (методы эконометрии и др.).

Методы теории УПБ предусматривают соблюдение ограничений по степени риска эксплуатации объекта.

Основы детерминистической теории оптимального управления при наличии ограничений на управляющие воздействия были заложены академиком Л.С. Понтрягиным в 50–60 гг. XX в. Благодаря его сотрудникам и последователям теория была развита и получила ряд важных практических приложений [2].

Существенный вклад в теорию и её применение внесли В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко, А.А. Милютин, А.Я. Дубовицкий, В.Ф. Бутузов, В.В. Дикусар, А.П. Афанасьев и др. исследователи.

Принцип (условия) максимума Понтрягина в отличие от принципа максимума Лагранжа в задачах вариационного исчисления на безусловный экстремум даёт другой формализм определения оптимального управления.

Вместо вспомогательной функции Лагранжа введена функция Понтрягина в виде двух сопряжённых функций, которые играют роль неопределённых множителей Лагранжа. В результате стало возможным определять экстремум в более широком классе функций управления.

В частности, принцип максимума позволяет сводить исходную задачу, заданную системой дифференциальных уравнений в частных производных с запаздывающим аргументом для технических систем с распределёнными параметрами к постановке краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с подвижной системой координат, оценивая как передаточное, так и ёмкостное запаздывание воздействий при управлении.

Однако в условиях УПБ объекта принцип максимума Понтрягина применим только для условий непрерывного управления на уровне технологических систем.

При дискретном административном управлении, когда решения принимают в зависимости от создавшейся ситуации или плановых мероприятий, применяют принцип оптимальности Беллмана.

Этот принцип обычно применяют при решении многоэтапных (многошаговых) задач динамического программирования на основе рекуррентной формулы Беллмана. Решение

сводится к выбору на каждом этапе лучшего результата в сравниваемых возможных вариантах.

На базе рекуррентной формулы применяют численные методы динамического программирования.

При достаточно малом шаге и длительном движении по траектории управления возможен переход к гладким (условно непрерывно дифференцируемым) функциям. В результате становится возможным свести задачу динамического программирования к нелинейному уравнению в частных производных первого порядка. Задачу рассматривают как краевую, задавая начальные и граничные условия. Однако для постановки таких оптимизационных задач должны быть заданы варианты состояний и закономерности реакций системы на воздействия по каждому шагу.

При неполных данных о внешних воздействиях на управляемые объекты решения на управление принимают в условиях стохастической, нечёткой или полной неопределённости, характерных при УПБ особенно при отсутствии реальных статистических данных. Это характерно для технологического оборудования объектов новых поколений, когда нет ни опыта эксплуатации у специалистов – экспертов, ни достаточной для представительности выборки отказов, приводящих к авариям.

Известен метод динамики средних Колмогорова для принятия решений без наблюдения характеристик процессов, основанный на заранее известных параметрах потока перехода объекта из одного состояния в другое. Однако, в этом случае, чем более совершенна и надёжна система, тем меньше выборка отказов технологического оборудования нового поколения и достоверность параметров потока отказов. Поэтому метод динамики средних не нашел применения для прогнозирования показателей риска на опасных производственных объектах.

При неполных данных для прогнозирования ущерба при пожарах или ЧС используют экспертные оценки. Для этого предварительно задают интервалы интенсивностей вероятных воздействий. На этих интервалах с использованием экспертных оценок строят матрицу воздействий (пожар (ЧС) – интенсивность – ущерб) по аналогии с платёжными матрицами (план – доход – затраты) при принятии технико-экономических решений при неопределённой информации.

После этого выбирают критерии и стратегию выбора оптимального решения по одному параметру:

стратегию пессимизма Вальда – по критерию минимакса (стратегия максимальной осторожности при опасности для жизни людей);

стратегию полного оптимизма – по критерию минимина (стратегия азартного игрока);

стратегию пессимизма – оптимизма Гурвица – по комбинированному критерию с весовыми коэффициентами (в зависимости от принятых критериев приближается к первому или второму вариантам);

стратегию равномерной плотности распределений Лапласа-Бейеса – по критерию минисредних (наиболее распространена);

стратегию анализа риска Севиджа – по критерию минимаксного риска (аналог критерия пессимизма Вальда).

В рассмотренных вариантах стратегий выбора внешних воздействий выбор критерия осуществляют на основе дополнительных соображений экспертов или лиц, принимающих решение о прогнозе интенсивности и частоты внешнего воздействия.

Экспертные методы находят применение при прогнозах внешних воздействий не только в комплексе с другими методами, но и самостоятельно:

– метод бальных оценок – каждому критерию присваиваются весовые коэффициенты;

– метод предпочтений – последовательно на основе ранжирования осуществляется одноцелевая оптимизация по наиболее важному критерию, затем вновь ранжируют оставшиеся критерии и повторяют процедуру оптимизации по очередному важному критерию;

– вероятностный метод Борда–Лапласа – матрица экспертных оценок рассматривается как вероятностная модель, и оцениваются доверительные вероятности предпочтений среди наличных альтернатив;

– метод дерева целей (или этапов сценария) – разделение сложных задач, когда эксперты не могут дать оценку, на последовательность более простых задач, находящихся в компетенции экспертов. Метод применим при условии зависимости цели (этапа сценария) только от одной вышестоящей цели (этапа сценария) и отсутствии замкнутых контуров (в ином случае необходимо использовать другой более подходящий метод, например, метод решающих матриц);

– метод решающих матриц – заключается в переходе к сложному графу с последующим построением и анализом экспертами матрицы целей (этапов сценария) с их ранжированием по важности и выбором решения и применяется, когда формирование дерева целей невозможно из-за наличия пересекающихся связей (взаимозависимости целей при переплетении «ветвей смежных деревьев»).

Вообще в наличном знании нет конкретных рекомендаций по разделению сложных сценариев (или целей) на более простые. Задача остаётся эвристической, а качество принимаемого решения зависит от способностей, знаний, опыта, степени однородности взглядов и обмена мнений экспертов, принимающих решения.

По этой причине методы, применяющие экспертные оценки, отличаются низкой сходимостью и воспроизводимостью из-за невысокой точности и достоверности экспертных оценок. Это связано с тем, что не всегда удаётся обеспечить представительность оценок из-за отсутствия необходимого количества экспертов с достаточно высокой квалификацией, а управление экспертами на основе итерационной стратегии организации взаимодействия экспертов, например, в дельфийском методе характеризуется тенденцией к получению средних оценок и нормальному распределению мнений экспертов.

В результате средней статистической оценки исключают нестандартные вероятно правильные оценки талантливых экспертов.

Однако в настоящее время нет способов выделения эффективных творческих решений малого числа прогрессивных экспертов, мыслящих обобщениями.

Известные методы экспертных оценок способствуют исключению оригинальных решений путём естественного доминирования большого числа решений экспертов, мыслящих аналогиями. Опыт таких экспертов зачастую имеет многолетнюю давность и основан на прежних быстро устаревающих научно-технических решениях, которые в других условиях могли быть менее затратными и более эффективными.

Рассмотренные методы применяют при одноцелевой оптимизации.

При рациональной относительной выгоде должны учитываться как минимум два критерия: критерий пожарной безопасности (например, пожарного риска) и экономический критерий (например, выгоды затрат на предотвращение и/или уменьшение риска). В соответствии с п. 3.2 РД 03-418-01 необходим комплексный учёт показателей «стоимость – безопасность – выгода» [3]. Поэтому при УПБ необходима многоцелевая оптимизация.

К основным методам многоцелевой оптимизации, которые нашли широкое применение для многомерных экономических систем при поиске компромиссных решений, относятся следующие [4]:

1. Метод оптимальных решений по Парето, определяющий множество таких решений по каждому критерию оптимизации, которые не ухудшают решения по другим критериям. Поэтому каждое решение, принадлежащее Парето-оптимуму, лучше других по одному критерию, но хуже по другим критериям. Для выбора лучшего решения иногда используют метод последовательных уступок и метод скаляризации.

2. Метод последовательных уступок предусматривает предварительное отыскание множества Парето-оптимальных решений. После чего последовательно в границах ядра Нэша на поверхности Парето-оптимальных решений, например, методом экспоненциального сглаживания, снижают требования по критериям оптимизации в допустимых пределах до тех пор, пока не останется один критерий. Затем принимают решение с использованием одного из методов однопараметрической оптимизации. Метод последовательных уступок позволяет перейти к одному доминирующему критерию, отбрасывая все остальные. Если требуется учёт влияния на решение задачи всех критериев оптимизации, прибегают к их обобщению методом скаляризации.

3. Метод скаляризации предусматривает аддитивную или мультипликативную свёртку оптимальных по Парето критериев в один обобщённый критерий с применением весовых коэффициентов или показателей. Решение при этом принимают также известными методами однопараметрической оптимизации. Известны и другие методы многоцелевой оптимизации с использованием на каком-либо этапе экспертных оценок. Использование в методах экспертного произвола указывает на несовершенство таких методов. Кроме того, оптимум Парето и свёртку с применением весовых коэффициентов можно применять только при условии независимости критериев оптимизации (правило Парето). Строго говоря, в соответствии с теорией подобия объектов и систем, процессов (например, оптимизации) и явлений (например, ЧС) производные критерии являются избыточными и должны исключать точно такое же количество исходных критериев.

Поэтому при УПБ объектов методы, основанные на Парето-оптимуме, не применимы из-за функциональной зависимости уровня затрат на предотвращение ущерба при пожаре или ЧС от требуемой степени защиты объекта для обеспечения заданного уровня пожарной безопасности (или уровня пожарного риска).

Следовательно, несмотря на детально разработанную общую теорию управления случайными процессами, требуется разработка специализированной адекватной специфике применяемых критериев теории УПБ.

Теория УПБ должна учитывать оптимизацию управления по двум зависимым показателям пожарной безопасности и выгоды затрат на её обеспечение в условиях неопределённости свойств и законов распределения случайных внешних воздействий и, соответственно, реакции системы на них, а также ёмкостного и передаточного запаздывания принятия и исполнения управляющих решений.

Для эффективного УПБ объекта целесообразно также разрабатывать систему управления, объединяющую все виды безопасности (промышленную безопасность, пожарную безопасность, безопасность труда и экологическую безопасность) – с одной стороны, и производственный контроль – с другой.

### **Литература:**

1. О пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. СЗ РФ. 1994. 26 дек. № 35, ст. 3649.

2. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф., Математическая теория оптимальных процессов, 3 изд., М., 1976.

3. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов».

4. Методы многоцелевой оптимизации: сб. ст. АН СССР, Дальневост. науч. центр, Хабаров. комплекс. НИИ; отв. ред. В.В. Хоменюк, Р.И. Трухаев. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. 188 с; 20 см.