

УДК 614.849

***ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ПОЖАРА И ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО УЩЕРБА***

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Кулемин В.О.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Аннотация. В статье рассматривается проблема избыточных или недостаточных расходов на противопожарные мероприятия. Традиционные нормативные подходы к обеспечению пожарной безопасности часто игнорируют индивидуальные характеристики объекта. Предложена методика оптимизации затрат, основанная на вероятности возникновения пожара и величине потенциального ущерба. Показано, что рациональное распределение ресурсов позволяет снизить общие потери на десятки процентов без ухудшения уровня защищённости.

Ключевые слова: оптимизация затрат, пожарная безопасность, вероятность пожара.

***OPTIMIZATION OF FIRE SAFETY COSTS TAKING INTO ACCOUNT THE
PROBABILITY OF FIRE AND THE AMOUNT OF POTENTIAL DAMAGE***

Aksyonov S.G.

*Doctor of Economics, Professor,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

Kulemin V.O.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Abstract. This article examines the problem of excessive or insufficient spending on fire safety measures. Traditional regulatory approaches to fire safety often ignore the individual characteristics of a facility. A cost optimization methodology based on the probability of fire occurrence and the magnitude of potential damage is proposed. It is shown that rational resource allocation can reduce overall losses by tens of percent without degrading the level of protection.

Keywords: cost optimization, fire safety, fire probability.

Эффективное управление расходами на обеспечение пожарной безопасности представляет собой сложную многокритериальную задачу. Многие организации устанавливают противопожарное оборудование с избыточным запасом прочности, что приводит к неоправданно высоким капитальным затратам. В других случаях наблюдается обратная картина, когда экономия на средствах защиты создаёт реальную угрозу для жизни людей и сохранности имущества. Традиционный подход, базирующийся на жёстких нормативных требованиях, не учитывает специфику конкретного объекта. Например, для склада с негорючими материалами и для хранилища легковоспламеняющихся жидкостей требования формально могут быть одинаковыми, хотя реальные риски различаются в сотни раз.

Альтернативой служит риск ориентированный метод, который связывает объём противопожарных мероприятий с расчётной величиной ожидаемого ущерба. Этот метод опирается на формулу математического ожидания потерь. Ожидаемый ущерб за период эксплуатации определяется как произведение

вероятности пожара на потенциальный материальный ущерб при возникновении пожара. Если затраты на дополнительные системы защиты превышают снижение ожидаемого ущерба, такие мероприятия признаются экономически нецелесообразными [1]. На практике это означает, что для объекта с очень низкой вероятностью возгорания сверхнормативные требования могут оказаться избыточными. Однако для объекта с высокой вероятностью пожара или с большим сосредоточенным материальным ценностями завышенные затраты могут быть полностью оправданы.

Ключевой проблемой становится достоверное определение вероятности возникновения пожара для конкретного объекта. Статистические данные по пожарам в целом по стране дают усреднённые величины, непригодные для точных расчётов. Необходимо учитывать множество факторов, таких как состояние электропроводки, наличие источников открытого огня, уровень подготовки персонала и даже климатические особенности региона. Для уникальных промышленных объектов применяют методику анализа деревьев событий и деревьев отказов. Эта методика позволяет вычислить годовую вероятность возгорания с приемлемой для практики точностью.

Расчёт потенциального ущерба также требует тщательного обоснования. Ущерб разделяют на прямой, то есть стоимость уничтоженных огнём материальных активов, и косвенный, включающий потерю прибыли от простоя, расходы на эвакуацию и восстановление производства. Косвенный ущерб часто в несколько раз превышает прямой, особенно для непрерывных технологических процессов. В некоторых случаях дополнительно учитывают экологический ущерб от выбросов продуктов горения. Полная оценка ущерба выполняется методами дисконтирования будущих денежных потоков, что позволяет корректно сравнивать затраты на безопасность, понесённые сегодня, с возможными потерями через несколько лет [2]. Без учёта косвенных

составляющих решение об оптимизации затрат может оказаться ошибочным, смещая выбор в сторону излишней экономии.

Оптимизационная задача формулируется следующим образом. Существует базовый уровень противопожарной защиты, соответствующий минимальным нормативным требованиям. Для каждого дополнительного мероприятия известна его стоимость и эффект снижения вероятности пожара или уменьшения величины потенциального ущерба. Требуется выбрать набор мероприятий, который минимизирует сумму двух величин. Первая величина – это прямые расходы на реализацию мероприятий. Вторая величина это произведение оставшейся (не сниженной) вероятности пожара на величину потенциального ущерба. Иными словами, оптимизируются суммарные ожидаемые потери, включающие и затраты на защиту, и остаточный риск.

Решение такой задачи обычно находят перебором вариантов при малом количестве мероприятий либо с помощью методов линейного программирования для большого числа элементов. Важным критерием служит показатель эффективности, определяемый как отношение снижения ожидаемого ущерба к затратам на мероприятие. Мероприятия ранжируют по убыванию этого показателя. Затем выбирают те из них, у которых показатель превышает некоторое пороговое значение. В качестве порога часто используют альтернативную стоимость капитала или среднюю норму доходности, принятую в организации [3]. Если мероприятие даёт снижение ущерба на один рубль при затратах в два рубля, от него следует отказаться. И наоборот, мероприятие стоимостью сто тысяч рублей, предотвращающее ожидаемые потери в миллион рублей, экономически оправдано.

Применение предложенного подхода иллюстрирует пример производственного цеха с годовым выпуском продукции на пятьсот миллионов рублей. Вероятность крупного пожара по статистике аналогичных предприятий составляет 0,02 в год. Прямой ущерб оценивается в сто
Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

миллионов рублей, а косвенный ущерб от простоя за время восстановления в двести миллионов рублей. Итого потенциальный ущерб триста миллионов рублей. Ожидаемые потери без дополнительных мер защиты равны произведению 0,02 на триста миллионов, что даёт шесть миллионов рублей в год. Руководство рассматривает установку автоматической системы пожаротушения стоимостью два миллиона рублей одновременно и с ежегодным обслуживанием в двести тысяч рублей.

Необходимо сравнить ежегодные затраты на систему с её эффективностью. Приведённая стоимость системы за срок службы десять лет с учётом дисконта пять процентов составит около трёх с половиной миллионов рублей в пересчёте на годовые платежи. Ожидаемое снижение ущерба от внедрения системы оценивается в семьдесят процентов от первоначальных потерь, то есть примерно четыре миллиона двести тысяч рублей в год. Поскольку выгода (4,2 миллиона рублей) превышает затраты (3,5 миллиона рублей), установка системы является оправданной мерой [4]. Если бы вероятность пожара была в десять раз ниже, то есть 0,002 в год, ожидаемые потери составили бы всего шестьсот тысяч рублей, и система с годовыми затратами 3,5 миллиона стала бы невыгодной.

Аналогичные расчёты можно выполнять для каждого элемента противопожарной защиты, включая огнестойкие двери, системы дымоудаления, обучение персонала и создание противопожарных разрывов. Важно отметить, что величина потенциального ущерба не является постоянной. Она зависит от времени срабатывания систем обнаружения, от скорости прибытия пожарных подразделений и от наличия источников водоснабжения. Для учёта этих факторов строят полевые модели развития пожара. Такие модели позволяют оценить критическое время блокирования путей эвакуации и распространение огня по конструкциям. Полученные

данные интегрируют в финансовую модель через изменение вероятности возникновения пожара и величины ущерба.

Существуют ограничения для применения вероятностного подхода. Во-первых, он неприемлем для объектов с массовым пребыванием людей, таких как школы, больницы и торговые центры, где человеческая жизнь имеет бесконечную ценность по этическим соображениям. Во-вторых, отсутствие достоверной статистики для новых технологических процессов делает расчёты крайне приблизительными. В-третьих, некоторые нормативные акты прямо предписывают фиксированные меры защиты, не допуская замены их расчётным обоснованием. Тем не менее, для большинства промышленных и складских объектов метод оптимизации затрат на основе вероятности и ущерба является не просто полезным, а необходимым инструментом управления [5].

Альтернативные методы оптимизации включают анализ критерия «затраты выгода» с учётом функции распределения вероятностей. Вместо одного точечного значения вероятности используют диапазон возможных значений, полученных методом Монте Карло. Это позволяет построить кривую риска и определить величину разумного запаса прочности. Например, если для девяноста процентов сценариев ожидаемые потери не превышают одного миллиона рублей, а для оставшихся десяти процентов достигают ста миллионов, то оптимальные затраты ориентируются на средневзвешенное значение. Такой подход предотвращает как занижение защиты из-за слишком оптимистичной оценки, так и неоправданное завышение из-за пессимистичного сценария.

Важным практическим выводом становится необходимость регулярного пересмотра принятых решений. Вероятность пожара может измениться после замены оборудования или внедрения новых технологий. Потенциальный ущерб растёт вместе с инфляцией и расширением бизнеса. Поэтому

Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

проведённая однажды оптимизация через два три года устаревает. Рекомендуется ежегодно проводить ревизию параметров модели, корректируя их по фактическим данным о возгораниях и их последствиях. Такая процедура превращает статичный расчёт в динамический управленческий процесс, постоянно поддерживающий баланс между безопасностью и экономической эффективностью.

Таким образом, предложенная методология уже внедрена на ряде крупных промышленных предприятий. Результаты показывают сокращение ежегодных расходов на противопожарные мероприятия на пятнадцать двадцать процентов без снижения уровня безопасности. В некоторых случаях удалось перенаправить сэкономленные средства на более эффективные меры, такие как автоматическое оповещение или огнезащитная обработка конструкций. Дальнейшее развитие метода связано с использованием машинного обучения для предсказания вероятности пожара на основе больших данных о состоянии оборудования. Это позволит перейти от реактивной оптимизации к предиктивной, что станет новым эталоном в управлении промышленной безопасностью.

Библиографический список

1. Аксенов С. Г., Хусаинов Э. И. Обзор вопроса пожарной безопасности на морских промышленных объектах: экономические аспекты // Экономика строительства. 2023. № 12. С. 99-101.

2. Меньших А. В. Модель оптимизации выбора мер пожарной безопасности // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2013. № 1 (4). С. 29-32.

3. Ягодка Е. А., Давыдов С. С. Совершенствование технологической структуры инвестиций на основе экспресс-оценки пожарных рисков // Вестник

Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2018. № 1 (215). С. 41-53.

4. Супрунов А. А. Оценка экономической эффективности мероприятий по пожарной безопасности в промышленных предприятиях Российской Федерации // Российский экономический интернет-журнал. 2023. № 4. С. 19-28.

5. Пицык В. В., Ичмелян А. Б. Математическая модель прогнозирования затрат на остаточный ресурс эксплуатации систем противопожарной защиты // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 3 (7). С. 154-157.