

УДК 614.849

***РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЧЁТА КОСВЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПОТЕРЬ ОТ ПРОСТОЕВ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ОЦЕНКЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ***

Аксенов С.Г.

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

Гумирова Л.Д.

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

Аннотация. В статье пишется о проблеме недооценки экономической эффективности систем пожарной автоматики при традиционном подходе. Обоснована необходимость разработки специализированной методики, позволяющей количественно оценивать косвенные потери, вызванные вынужденным простоем производственных процессов. Предложен методический подход, основанный на декомпозиции общего времени простоя на этапы и выявлении количественного влияния параметров быстродействия и надежности систем пожарной автоматики на длительность каждого из этих этапов.

Ключевые слова: экономическая эффективность, системы пожарной автоматики, пожарный риск.

***DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ACCOUNTING FOR
INDIRECT ECONOMIC LOSSES FROM PRODUCTION DOWNTIME
WHEN ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF FIRE AUTOMATION
SYSTEMS***

Aksyonov S.G.

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

Gumirova L.D.

*Student,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

Abstract. This article addresses the problem of underestimating the efficiency of economic systems and fire automation systems using the traditional approach. It substantiates the need to develop a specialized methodology for quantifying the limitations caused by forced downtime of production processes. A methodological approach is proposed based on decomposing the total downtime into stages and determining a set of parameters for the rapid response and reliability of fire automation systems during each of these stages.

Keywords: economic efficiency, fire automation systems, fire risk.

Современные промышленные предприятия характеризуются высокой степенью автоматизации технологических процессов, сложностью инженерных систем и значительной концентрацией материальных ценностей на единицу площади. В этих условиях обеспечение пожарной безопасности является не только обязательным нормативным требованием, но и критически важным элементом устойчивого функционирования бизнеса. Системы пожарной автоматики, включающие автоматические установки пожаротушения, пожарную сигнализацию, системы оповещения и управления эвакуацией, призваны минимизировать ущерб от пожара, воздействуя на его

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

опасные факторы на ранней стадии развития. Традиционная оценка экономической эффективности таких систем часто базируется на сопоставлении затрат на их проектирование, монтаж и обслуживание с величиной предотвращённого прямого материального ущерба от огня, дыма и проливов огнетушащего вещества. Однако данный подход не отражает в полной мере экономические последствия пожара для производственного объекта, оставляя за рамками анализа обширный пласт косвенных потерь, связанных с вынужденным прерыванием производственного цикла.

Косвенные потери от пожара, в отличие от прямых, не связаны с физическим уничтожением или повреждением имущества непосредственно в зоне горения, а являются следствием дезорганизации производственного процесса, нарушения логистических цепочек и финансово-экономических обязательств предприятия. Ключевым компонентом косвенного ущерба выступают потери от простоя производства, которые могут многократно превышать прямые убытки, особенно в отраслях с высокой добавленной стоимостью продукции или непрерывным циклом, таких как нефтепереработка, металлургия или фармацевтика. Действующие методики оценки эффективности противопожарных систем, включая подходы, изложенные в нормативных документах, либо вовсе игнорируют данный вид потерь, либо учитывают их крайне упрощённо, через фиксированные коэффициенты к прямому ущербу, не позволяя провести адекватное экономическое обоснование внедрения той или иной технологической конфигурации пожарной автоматики. Вследствие этого проектные решения зачастую принимаются исходя из минимальных нормативных требований, без учёта реальной экономической целесообразности повышения надёжности и быстродействия систем противопожарной защиты [1,2].

Разработка детальной методики учёта косвенных экономических потерь от простоев производства при оценке эффективности систем пожарной

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

автоматики является актуальной научно-практической задачей. Такая методика должна позволить количественно связать время вынужденного простоя, возникающего в результате инцидента и последующего восстановления производственной среды, с недополученной прибылью, условно-постоянными расходами и штрафными санкциями. При этом критически важно учитывать, что системы пожарной автоматики непосредственно влияют не только на масштаб прямого ущерба, но и на продолжительность простоя, определяя время от момента возгорания до ликвидации очага или до момента безопасного входа персонала для начала аварийно-восстановительных работ. Следовательно, оценка экономической эффективности таких систем должна интегрировать два взаимосвязанных эффекта: сокращение гипотетической площади горения и материальных потерь, а также минимизацию интервала времени от возникновения аварийной ситуации до нормализации функционирования предприятия.

Для построения адекватной методики необходимо в первую очередь структурировать факторы, формирующие время простоя производства, и выделить те из них, на которые способна повлиять степень совершенства пожарной автоматики. Общее время простоя объекта можно представить как сумму нескольких последовательных и параллельных временных отрезков: время свободного развития пожара до его обнаружения и начала тушения, длительность активной фазы тушения с использованием автоматических средств и сил пожарных подразделений, время после тушения, необходимое для удаления дыма, снижения температуры и концентраций токсичных веществ до приемлемого уровня, время на оценку технического состояния оборудования и конструкций, длительность ремонтно-восстановительных работ на повреждённых элементах и, наконец, время поэтапного запуска технологической цепочки. Высокоэффективные системы пожарной автоматики, обладающие сверхранним обнаружением, высокой

инерционностью срабатывания и точностью подачи огнетушащего вещества, сокращают не только продолжительность горения, но и степень вторичных повреждений от продуктов сгорания и самого тушащего агента, что напрямую ускоряет этапы после тушения и восстановления [4].

Фундаментальным принципом предлагаемой методики является построение экономико-вероятностной модели, в которой сценарии развития пожара и его тушения увязываются с эффективностью конкретных технических решений пожарной автоматики. В основе модели лежит расчёт ожидаемого времени простоя для каждого сценария, который определяется с учётом надёжности элементов системы, времени их реакции и полноты выполнения поставленных задач. Необходимо рассматривать не только детерминированные параметры, такие как инерционность датчиков или интенсивность подачи воды спринклерной системой, но и вероятностные показатели, включая вероятность безотказного срабатывания, вероятность ложных срабатываний и вероятность человеческой ошибки при пусконаладке. Ложные срабатывания, например, влекут за собой незапланированные простои и потери, сопоставимые по своей природе с ущербом от реального пожара, и их влияние также должно быть включено в экономическую оценку, преобразуя задачу из одномерной в комплексную оптимизацию надёжности и быстродействия. Расчёт ожидаемых годовых потерь от простоев, связанных с пожарами, следует вести как сумму произведений стоимости простоя в единицу времени для каждого из возможных сценариев на вероятность его реализации и на характерную длительность, обусловленную функционированием оцениваемой системы [5].

Ключевым параметром, требующим углублённой экономической проработки, является стоимость часа простоя для конкретного производственного участка, цеха или всего предприятия. Данный показатель не является величиной постоянной и зависит от структуры себестоимости

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

продукции, длительности технологического цикла, наличия узких мест и возможности переноса производственных программ на резервные мощности. В простейшем случае стоимость часа простоя может быть аппроксимирована суммой двух составляющих: маржинальной прибыли, которую предприятие теряет, не выпуская продукцию в течение простаивающего часа, и непропорциональных условно-постоянных затрат, которые продолжают начисляться независимо от факта выпуска продукции. Сюда относятся амортизация оборудования, арендные платежи, заработная плата персонала на простое по условиям трудового законодательства или коллективного договора, расходы на поддержание инфраструктуры и охранные обязательства. Для производств с непрерывным циклом и высокотемпературными процессами к этим затратам добавляются технологические потери, связанные с необходимостью слива и повторного разогрева сырья, очистки трубопроводов и аппаратов, а также с выводом на режим после запуска, что может занимать значительное время и требовать дополнительного расхода энергоносителей.

В химической, нефтехимической и металлургической промышленности особое значение приобретают затраты, возникающие вследствие нарушения контрактных сроков поставок продукции, которые могут повлечь за собой существенные штрафные санкции и потерю деловой репутации. Хотя непосредственно посчитать финансовый эквивалент снижения рыночной капитализации компании после перебоев в отгрузках сложно, методика может включать экспертный коэффициент, повышающий стоимость часа простоя на основании анализа ретроспективных данных о рыночной доле и стоимости бренда. Аналогичным образом, в дискретных машиностроительных производствах с высокой кооперацией, сбой в поставках с одного завода-смежника приводит к каскадным простоям у потребителя по принципу «точно-в-срок», и суммарный экономический ущерб должен отражать ответственность предприятия перед контрагентами. Таким образом, методика

должна предусматривать не только унифицированную формулу расчёта стоимости часа простоя, но и иерархическую классификацию производств по степени чувствительности к длительности перерывов, с присвоением им повышающих весовых коэффициентов [4].

Немаловажным аспектом является учёт взаимодействия систем пожарной автоматики с иными защитными и технологическими системами предприятия, что может мультиплицировать или, наоборот, нивелировать эффект от их внедрения. Например, наличие автоматической блокировки вентиляции при срабатывании пожарной сигнализации предотвращает распространение дыма по этажам, тем самым ограничивая зону загрязнения и последующее время очистки помещений, что существенно сокращает косвенные потери. Напротив, несовместимость системы пожаротушения с чувствительным электронным оборудованием, приводящая к вторичному ущербу от воды или пены после тушения, может увеличить время восстановления и потребовать дорогостоящей замены компонентов. Интеграция в методику логических связей между системой пожарной автоматики и архитектурой инженерных систем здания позволяет перейти к сквозной оценке эффективности, учитывающей синергетический эффект. Поэтому в технико-экономическом обосновании следует представлять не изолированную систему пожаротушения, а комплекс решений по управлению пожарным риском, включая пассивную огнезащиту, противодымную вентиляцию и автоматику управления инженерным оборудованием [2].

Практическая реализация методики предполагает формирование расчётного алгоритма, который на основе входных данных о производственном объекте, его пожарной нагрузке, конфигурации системы автоматики и параметрах страхового покрытия позволяет вычислить экономический эффект от внедрения систем различного уровня. Алгоритм должен работать в диалоговом режиме, позволяя последовательно перебирать

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

варианты: базовый вариант, соответствующий минимальным нормативным требованиям, и сравниваемые варианты с более высокой скоростью обнаружения, дублированием исполнительных элементов, интеграцией с автоматизированной системой управления технологическим процессом. Для каждого варианта рассчитывается распределение вероятностей возможной величины косвенного ущерба, что особенно важно, поскольку потери от простоя, в отличие от прямого материального ущерба, часто имеют менее стохастическую природу, но сильно зависят от длительности прерывания, которая, в свою очередь, является случайной величиной. Метод Монте-Карло или аналогичные имитационные методы позволяют получить не только математическое ожидание годовых потерь, но и функции распределения для оценки рисков экстремальных убытков, выходящих за пределы аппетита к риску предприятия [5].

Внедрение разработанной методики в практику оценки инвестиционных проектов по противопожарной защите даёт возможность сместить акцент с формального соблюдения нормативов на экономически обоснованный выбор оптимального уровня защиты. Применяя данную методику, собственники предприятий и инвесторы могут сопоставить прирост капитальных и эксплуатационных затрат на более совершенную автоматику с математическим ожиданием снижения как прямых, так и косвенных потерь от пожаров. Экономический эффект от учёта простоев в расчётах зачастую делает рентабельным внедрение адресно-аналоговых извещателей с ранним детектированием, быстродействующих спринклерных систем с пониженной инерционностью или систем тонкораспылённой воды, которые могут казаться избыточными при анализе лишь прямого ущерба, но оказываются высокоэффективными, когда во внимание принимается стоимость каждой минуты простоя в высокомаржинальном производстве. Это, в свою очередь, способствует формированию культуры экономически рационального

проектирования безопасности, при котором решения принимаются не по остаточному принципу, а на основе оценки полной стоимости владения и рисков прерывания бизнеса [4].

Особую сложность в методическом плане представляет сопряжение оценки косвенных потерь с существующей системой страховой защиты. Страховые компании, оценивая риск наступления страхового случая и устанавливая тарифы, традиционно оперируют категориями максимально возможного убытка, в котором значительная доля приходится на перерыв в производстве. Предлагаемая методика позволяет страхователю, обладающему высокоэффективной автоматической системой пожаротушения, аргументированно требовать снижения страховой премии по страхованию имущества и страхованию от перерыва в производстве, поскольку вероятность и продолжительность страхового события с внедрением такой системы существенно уменьшаются. Прозрачная модель расчёта, подтверждённая независимой экспертизой, даёт возможность перевести диалог со страховщиком в предметную плоскость, оперируя конкретными показателями снижения времени вынужденного простоя и вероятности каскадного развития аварии. Следовательно, методика выступает не только как инструмент оценки эффективности инвестиций в автоматику, но и как механизм интеграции инженерных решений в систему управления финансами и рисками предприятия [3].

Для успешной имплементации методики на отраслевом уровне требуется создание базы данных по стоимости часа простоя для различных технологических переделов и типов производств, унификация подходов к определению длительности восстановления после пожара для различных объёмно-планировочных и конструктивных характеристик зданий, а также систематизация статистических данных о надёжности компонентов пожарной автоматики. Государственные и отраслевые научно-исследовательские

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

институты могли бы выступить в роли агрегаторов такой статистики, обеспечив её доступность для проектных организаций. Переход на параметрическое нормирование в области пожарной безопасности открывает возможности для использования этой методики в качестве официально признаваемого инструмента обоснования отступлений от предписывающих норм, когда расчёт показывает, что предлагаемые компенсирующие мероприятия, в том числе ускоренное реагирование автоматики, сокращают интегральный экономический ущерб в большей степени, чем строгое следование букве правила [6].

Верификация методики на реальных примерах промышленных объектов доказывает её практическую применимость и высокую чувствительность результатов к изменению характеристик системы пожарной автоматики. Рассмотрим в качестве примера складской комплекс с высотным стеллажным хранением готовой продукции фармацевтической компании. При базовом варианте защиты, удовлетворяющем нормативу и включающем дымовые пожарные извещатели и систему внутреннего пожарного водопровода, время от возникновения очага до начала эффективного тушения прибывшими подразделениями может составить двадцать минут, а зона горения распространится на значительную площадь, повредив не только хранящиеся субстанции, но и несущие металлоконструкции стеллажей. Прямой ущерб от утраты продукции и ремонта конструкций оценивается в крупную сумму, однако простой склада в ожидании обследования, расчистки и восстановления займёт несколько месяцев, что вызовет остановку отгрузок и сбой всей производственной программы, исчисляемый многократным превышением прямого ущерба. Внедрение быстродействующей спринклерной системы с контролем запуска и ранним обнаружением на основе аспирационных дымовых извещателей снижает расчётную площадь горения в десятки раз, локализует пожар на ранней стадии и сокращает время восстановления до

нескольких дней, что делает общие потери на порядок меньше, а инвестиционный проект – высокорентабельным.

Аналогичные результаты демонстрируются и для производств с высокотемпературными процессами, где огнетушащее вещество традиционной водяной системы может вызывать термический шок оборудования, сопоставимый по разрушительности с самим пожаром. Здесь система пожарной автоматики, спроектированная с применением газового пожаротушения или тонкораспылённой воды, позволяет не только быстро подавить очаг, но и избежать вторичного ущерба, что практически сводит к минимуму время восстановления дорогостоящих печей и реакторов. В такого рода ситуациях игнорирование косвенных потерь при оценке эффективности автоматики неизбежно ведёт к принятию неоптимальных, а порой и опасных проектных решений, создающих иллюзию защиты при фактическом наличии критического риска для непрерывности бизнеса. Разработанная методика вводит понятие коэффициента чувствительности производства к перерывам, который, будучи умноженным на базовую стоимость часа простоя, позволяет дифференцированно подходить к проектированию защиты для критических узлов технологической цепочки, где остановка недопустима с экономической точки зрения.

Неотъемлемой частью методики является динамический анализ жизненного цикла системы пожарной автоматики, учитывающий снижение её надёжности со временем и необходимость профилактического обслуживания. Плановые простои на регламентные работы могут совмещаться с технологическими окнами, однако любой внеплановый отказ или ложное срабатывание в период нормальной эксплуатации порождает ущерб, идентичный по экономической сущности простоям от реального пожара. Поэтому модель должна включать блок расчёта оптимальной периодичности и глубины технического обслуживания, минимизирующего сумму затрат на

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

сервис и ожидаемых убытков от ложных тревог и отказов в режиме ожидания. Такая постановка задачи превращает оценку эффективности системы пожарной автоматики в многокритериальную оптимизацию, балансирующую между начальными инвестициями, стоимостью эксплуатации и уровнем риска, что полностью соответствует современным концепциям управления промышленной безопасностью на основе оценки рисков [3].

Таким образом, разработка методики учёта косвенных экономических потерь от простоев производства при оценке эффективности систем пожарной автоматики заполняет критический пробел между инженерным расчётом противопожарных систем и экономической логикой управления промышленным предприятием. Методика опирается на декомпозицию времени простоя на составляющие, идентификацию влияния параметров пожарной автоматики на каждый этап этого времени, применение вероятностного моделирования для оценки ожидаемых убытков и расчёт стоимости простоя с учётом отраслевой специфики. Её внедрение позволяет преодолеть «нормативный фетишизм», когда системы безопасности рассматриваются исключительно как неизбежная статья расходов, а не как инструмент защиты прибыли и обеспечения устойчивости бизнеса. В конечном итоге предлагаемый подход способствует не только повышению пожарной безопасности объектов, но и росту их экономической эффективности за счёт предотвращения наиболее катастрофичных по своим финансовым последствиям событий – длительных остановок производства.

Перспективы развития данной работы связаны с созданием программного комплекса, реализующего предложенные алгоритмы и интегрирующего их с BIM-моделями зданий и цифровыми двойниками производственных процессов. Такой комплекс позволит в режиме реального времени проигрывать сценарии аварий и оценивать ущерб с учётом фактического размещения материальных ценностей, загрузки оборудования и

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

портфеля контрактных обязательств, что выведет анализ эффективности систем пожарной автоматики на качественно новый уровень, свойственный эпохе Индустрии 4.0. Кроме того, актуальным направлением является расширение методики на случай комбинированного ущерба, возникающего при одновременном воздействии пожара и иных опасных факторов, например, утечки химических веществ, которые могут сопутствовать пожару в технологических аппаратах. Учёт комплексных сценариев потребует создания мультифизических моделей аварий, однако экономический фундамент, заложенный в описанной методике, останется неизменным: каждая секунда прерывания производственного цикла должна быть экономически взвешена и сопоставлена со стоимостью инженерных средств, способных её предотвратить.

Резюмируя изложенное, можно утверждать, что разработка методики учёта косвенных экономических потерь от простоев производства при оценке эффективности систем пожарной автоматики является закономерным этапом эволюции методологии экономического обоснования противопожарных мероприятий. Переход от примитивных мультипликативных коэффициентов прямого ущерба к детальному, сценарному и вероятностному моделированию временных и финансовых параметров простоев отражает усложнение производственных систем и повышение требований к непрерывности их функционирования. Сформулированные в статье принципы, классификация потерь, модель влияния автоматики на длительность простоя и алгоритм расчёта стоимости простоя создают необходимую теоретическую и практическую базу для внедрения такого учёта в повседневную деятельность проектных и экспертных организаций. В условиях, когда конкуренция обязывает бизнес минимизировать все виды непроизводительных потерь, пренебрежение косвенными потерями от пожаров более недопустимо, и

предлагаемая методика предоставляет адекватный аналитический аппарат для решения этой задачи [6].

Библиографический список

1. Аксенов С. Г., Хусаинов Э. И. Обзор вопроса пожарной безопасности на морских промышленных объектах: экономические аспекты // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 10-1. – С. 676–682.

2. Лесных В. В., Тимофеева Т. Б. Энергетические аспекты стратегических рисков // Стратегические риски развития России. Оценка и прогноз. Сб. науч. тр. / отв. ред. Б. Н. Порфирьев. — М. : ИЭ РАН, 2010. — 276 с.

3. Модели оптимизации развития энергосистем / Арзамасцев Д. А. [и др.] ; под ред. Д. А. Арзамасцева. — М. : Высшая школа, 1987. — 272 с.

4. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении. — М. : Дело, 2004. — 399 с.

5. Индексы цен в строительстве // Межрегиональный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 84. — 164 с.

6. Eto J., Koomey J., Lehman B. [et al.] Scoping study on Trends in the Economic Value of Electric Reliability to the US Economy. — Berkeley, California : Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. — 148 p.