

УДК 614.849

***МЕТОДИКА РАСЧЁТА РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В  
ОГНЕЗАЩИТНУЮ ОБРАБОТКУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С  
УЧЁТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЖАРА РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ***

***Аксенов С.Г.***

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

***Кузьмин Д.Н.***

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

**Аннотация.** В статье пишется обоснование и описание методики расчёта рентабельности инвестиций в огнезащитную обработку строительных конструкций с учётом вероятности пожара различной интенсивности. Авторы анализируют традиционный детерминированный подход к назначению пассивной противопожарной защиты, который часто приводит к необоснованным затратам либо к недостаточной огнестойкости. Предлагаемая вероятностно-экономическая методика включает четыре последовательных этапа: сбор статистических данных о частоте и сценариях пожаров. На примере складского комплекса со стальным каркасом показано, что ROI достигает 198 %, а для офисных зданий с низкой вероятностью серьёзного пожара может быть отрицательным.

**Ключевые слова:** рентабельность инвестиций, огнезащитная обработка строительных конструкций, вероятность пожара.

***A METHOD FOR CALCULATING THE PROFITABILITY OF INVESTMENT  
IN FIREPROTECTION TREATMENT OF BUILDING STRUCTURES,***

## ***TAKING INTO ACCOUNT THE PROBABILITY OF A FIRE OF VARIOUS INTENSITY***

***Aksyonov S.G.***

*Doctor of Economics, Professor,*

*Ufa University of Science and Technology,*

*Ufa, Russian Federation*

***Kuzmin D.N.***

*Student,*

*Ufa University of Science and Technology,*

*Ufa, Russian Federation*

**Abstract.** This article provides a rationale and description of a methodology for calculating the return on investment in fire protection treatments for building structures, taking into account the likelihood of fires of varying intensities. The authors analyze the traditional deterministic approach to the designation of passive fire protection, which often leads to unnecessary costs or insufficient fire resistance. The proposed probabilistic-economic methodology includes four sequential stages: collecting statistical data on fire frequency and scenarios. Using a steel-frame warehouse complex as an example, it is shown that the ROI reaches 198%, while for office buildings with a low probability of a serious fire, it can be negative.

**Keywords:** return on investment, fire protection treatments for building structures, fire likelihood.

Современное строительство немислимо без соблюдения жёстких требований пожарной безопасности, однако выбор между активными и

пассивными средствами защиты чаще всего определяется не столько эффективностью, сколько кажущейся экономической целесообразностью. Инвестиции в огнезащитную обработку строительных конструкций традиционно воспринимаются как безусловный убыток, поскольку в отсутствие пожара они не приносят прямой выгоды. Между тем такой подход игнорирует вероятностную природу огневого воздействия, а также колоссальную разницу в ущербе при пожарах разной интенсивности. Чтобы объективно оценить рентабельность огнезащиты, необходимо перейти от детерминированных нормативных предписаний к вероятностно-экономическому моделированию, где ключевую роль играет методика расчёта ROI (Return on Investment) с учётом вероятности пожара и его сценариев [4]. Настоящая статья представляет собой обзор основных элементов такой методики – от сбора исходных данных до интерпретации результатов, что позволяет лицу, принимающему решение, обоснованно выбирать уровень огнезащитной обработки. Важно подчеркнуть, что рентабельность инвестиций в данном контексте выражается не только в предотвращении прямых потерь, но и в минимизации косвенных убытков, социальных и экологических последствий [3].

Классическое определение рентабельности инвестиций (ROI) для систем противопожарной защиты имеет вид отношения чистой приведённой стоимости предотвращённого ущерба к затратам на приобретение и обслуживание средств защиты. В случае огнезащитной обработки конструкций затраты включают стоимость составов, их нанесение, периодические обследования и ремонт покрытия в течение жизненного цикла здания. Сложность же заключается в том, что пожар – событие редкое, а его интенсивность (скорость тепловыделения, температурный режим, продолжительность) подчиняется вероятностным распределениям. Поэтому прямое сравнение «стоимость обработки против стоимости здания»

некорректно – необходимо умножать возможный ущерб при пожаре на вероятность его возникновения и дожига до стадии, когда несущая способность конструкций будет исчерпана. Более того, обработка может быть избыточной, если вероятность сильного пожара крайне мала, либо недостаточной, если высока вероятность длительного углеводородного пожара. Таким образом, методика расчёта ROI становится многокритериальной задачей, решаемой на стыке пожарно-технических экспертиз, вероятностного анализа и финансового моделирования [6].

Первый этап методики – сбор статистических данных о частоте возникновения пожаров для данного типа зданий и их функционального назначения. Источниками служат государственные отчёты МЧС, базы данных страховых компаний, а также отраслевые исследования (например, для складских логистических центров частота пожаров на 1000 м<sup>2</sup> в год может в 5–10 раз превышать аналогичный показатель для офисных помещений). Однако простая частота возникновения недостаточна – критически важно оценить вероятность того, что начальный очаг перейдёт в развитой пожар с воздействием на несущие конструкции. Здесь вводится понятие «условной вероятности дожига» в зависимости от наличия и работоспособности автоматических систем пожаротушения, оповещения и противодымной защиты. Для зданий с высокой степенью автоматизации вероятность перерастания загорания в объёмный пожар может составлять всего 0,1–0,2, тогда как для объектов без систем активной защиты она приближается к единице. Параллельно строится распределение интенсивностей пожара: разделение на стандартный температурный режим (ISO 834), углеводородный (НС-кривая), режим с медленным нарастанием температуры («ползучий пожар») и режим с кратковременным тепловым ударом [2].

Второй этап – оценка сопротивляемости конструкций огневому воздействию до и после обработки, причём эта оценка должна быть

Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

вероятностной, а не детерминированной. Для стали критической температурой обычно считается 500–550 °С, для железобетона – разрушение защитного слоя и потеря армированием прочности при 400–450 °С, для дерева – обугливание на глубину, превышающую расчётное сечение. Огнезащитная обработка может быть конструктивной (облицовка, плиты) или тонкослойной (вспучивающиеся краски, обмазки), каждая из которых имеет своё распределение времени защиты при разных режимах нагрева. Результаты натуральных или расчётных огневых испытаний (например, методом конечных элементов в программах ANSYS, SOFiSTiK) позволяют получить функцию плотности вероятности для времени наступления предела огнестойкости  $t_{cr}$  при заданной интенсивности пожара [4]. Нормативный подход даёт лишь одно гарантированное значение (например, R60 – 60 минут), но для экономического расчёта необходимо знать, какова вероятность того, что конструкция разрушится, скажем, через 30 минут при стандартном пожаре и через 12 минут при углеводородном [5]. Эти данные заносятся в двухмерную таблицу «интенсивность пожара – время разрушения» для варианта с обработкой и без неё.

Третий этап – моделирование ущерба при различных сценариях, разделяя прямые потери (стоимость восстановления конструкций, оборудования, инвентаря) и косвенные (потеря арендного дохода на период простоя, упущенная выгода, штрафы за срыв контрактов, вред здоровью и жизни). Прямой ущерб без огнезащиты часто принимается как стоимость полной замены повреждённых конструкций и отделки, тогда как эффективная обработка может снизить его на 70–90 % за счёт локализации разрушений. Однако при слабой интенсивности пожара (например, затухающий очаг до 300 °С) обработка может быть вовсе не нужна – конструкции выдержат воздействие без потери несущей способности и без дополнительной защиты. При высокой интенсивности, напротив, даже самая современная обработка лишь отодвигает момент разрушения, но не предотвращает его, поэтому

экономия от обработки равна разнице между ущербом при разрушении через  $t_c$  обработкой и через  $t_c$  без обработки, взвешенной на вероятность того, что длительность пожара превысит эти времена [4]. Для вычисления этих вероятностей необходимо знать распределение продолжительности пожара при заданной интенсивности, которое строится на основе пожарнотехнического моделирования с учётом пожарной нагрузки и геометрии помещения. Получается, что предотвращённый ущерб – это интеграл по всем возможным сценариям (интенсивность и длительность) от функции потерь, что требует численного интегрирования.

Четвёртый этап – непосредственно расчёт ожидаемого предотвращённого ущерба за жизненный цикл здания (обычно 25–50 лет) с дисконтированием будущих выгод к текущему моменту [1]. Пусть  $P_i$  – вероятность пожара  $i$ -го типа интенсивности (сумма всех  $P_i$  равна частоте возникновения пожара, умноженной на условную вероятность дожига), а  $D_i$  – математическое ожидание ущерба при пожаре  $i$ -го типа без обработки,  $D_i'$  – аналогично с обработкой [2]. Тогда ожидаемый предотвращённый ущерб за один год составит  $\sum P_i * (D_i - D_i')$ , а за весь жизненный цикл – сумму по годам с коэффициентом дисконтирования  $\frac{1}{(1+r)^t}$ , где  $r$  – норма дисконта (рекомендовано 4–8 % для инфраструктурных проектов). Затраты на огнезащиту включают единовременные капитальные вложения (материалы, нанесение) и ежегодные эксплуатационные расходы (осмотры, ремонт покрытия, переаттестация). Рентабельность инвестиций  $ROI = (\text{Приведённый предотвращённый ущерб} - \text{Приведённые затраты}) / \text{Приведённые затраты}$  [5]. Если  $ROI > 0$ , инвестиции экономически оправданы; при  $ROI < 0$  – обработка приносит чистый убыток; при  $ROI \gg 0$  – имеет смысл рассмотреть более дорогую и эффективную обработку [4,5].

Для иллюстрации методики рассмотрим гипотетический складской комплекс площадью 10 000 м<sup>2</sup> со стальным каркасом. По статистике, частота возникновения пожара – 0,05 в год, условная вероятность перехода в объёмный пожар с учётом автоматической спринклерной системы – 0,3, следовательно, ожидаемое число серьёзных пожаров в год – 0,015. Распределение интенсивностей: 70 % – стандартный пожар (кривая ISO 834), 25 % – быстрый пожар с углеводородным режимом, 5 % – затяжной «тлеющий» режим [3]. При помощи расчётов выяснено, что без огнезащиты при стандартном пожаре несущая способность теряется через 12 минут, при углеводородном – через 4 минуты, при тлеющем – выдерживается 60 минут. С тонкослойной огнезащитой (расход 1,5 кг/м<sup>2</sup>, стоимость 800 руб./м<sup>2</sup>) времена возрастают до 45, 18 и 120 минут соответственно. Прямой ущерб без защиты при любом развитии пожара оценивается в 120 млн руб. (полное разрушение каркаса), косвенный – 80 млн руб., итого 200 млн руб.

С защитой же при стандартном и углеводородном пожаре удаётся сохранить каркас и провести лишь локальный ремонт, прямой ущерб снижается до 30 млн руб., косвенный – до 20 млн руб. (50 млн руб. итого), а при тлеющем режиме ущерб минимален – 5 млн руб. Подставляя вероятности, получаем ожидаемый годовой ущерб без защиты:  $0,015 * (0,7*200 + 0,25*200 + 0,05*200) = 3,0$  млн руб. С защитой:  $0,015 * (0,7*50 + 0,25*50 + 0,05*5) = 0,714$  млн руб. Ожидаемый предотвращённый годовой ущерб =  $3,0 - 0,714 = 2,286$  млн руб. Затраты на обработку: единовременные 8 млн руб. ( $800 \text{ руб./м}^2 * 10\,000 \text{ м}^2$ ), ежегодные на осмотр и ремонт – 0,2 млн руб. За жизненный цикл 25 лет при норме дисконта 5 % приведённый предотвращённый ущерб =  $2,286 * [1 - 1/(1,05^{25})] / 0,05 \approx 2,286 * 14,094 = 32,2$  млн руб. Приведённые эксплуатационные затраты =  $0,2 * 14,094 = 2,82$  млн руб., полные приведённые затраты =  $8 + 2,82 = 10,82$  млн руб.  $ROI = (32,2 - 10,82) / 10,82 \approx 1,98$  или 198

%, что говорит о высокой рентабельности инвестиций в огнезащиту для данного склада.

Однако столь высокий ROI получен для сценария, где вероятность серьёзного пожара относительно велика, а разница в ущербе с защитой и без неё огромна. Если же рассматривать, к примеру, офисное здание с современными системами дымоудаления и частыми подъездами пожарных, условная вероятность дожига может быть 0,05, а частота пожаров – 0,01 в год, тогда ожидаемое число серьёзных пожаров упадет до 0,0005 в год [4]. При таком уровне риска даже дорогая огнезащита может стать нерентабельной, ROI окажется отрицательным. Более того, для зданий со сверхнизкой вероятностью интенсивного пожара иногда экономически обоснованно вообще не применять пассивную защиту, ограничиваясь детекторами и спринклерами. Именно поэтому предлагаемая методика настаивает на индивидуальном расчёте, а не на слепом следовании нормативным требованиям (например, R90 для всех складов), которые могут приводить к перезащите и неэффективному расходованию средств [1,5].

Ключевое преимущество вероятностной методики – возможность ранжирования инвестиций в зависимости от интенсивности пожара. Например, если анализ показывает, что в данном здании доминирует вероятность быстроразвивающегося углеводородного пожара (высокотемпературного), но низка вероятность длительного стандартного нагрева, то имеет смысл применять огнезащиту с высокой вспучиваемостью при кратковременном тепловом потоке, даже если её долговременная стойкость к умеренным температурам невелика. Обратная ситуация – преобладание затяжных «тлеющих» пожаров – требует не столько теплоизоляции, сколько препятствия глубокому прогреву сечения, что может быть дешевле. Таким образом, оптимизация достигается не только за счёт выбора «делать или не делать», но и за счёт выбора типа обработки под

Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

конкретный профиль рисков. Также методика позволяет рассчитать предельную стоимость огнезащиты, при которой ROI становится нулевым – это своего рода аукционная цена, выше которой заказчику невыгодно подниматься [6].

Практическая реализация описанного подхода требует создания цифровых двойников зданий, где модули CFD-моделирования пожара (Fire Dynamics Simulator, FDS) сопряжены с расчётами прогрева конструкций (теплотехнические модели) и далее с экономическими блоками. Современные программные комплексы (например, PyroSim – Pathfinder – Excel) позволяют автоматизировать перебор сценариев по методу Монте-Карло, генерируя распределения вероятностей ущерба. На выходе пользователь получает не одно число ROI, а его доверительный интервал, что особенно важно при высокой неопределённости исходных данных о частоте и интенсивности пожаров. В последние годы появились и специализированные онлайн-калькуляторы, однако они, как правило, используют завышенные эмпирические коэффициенты и не учитывают локальную статистику, поэтому для серьёзных проектов рекомендуется разработка собственной модели. Не следует забывать о чувствительности результата к ставке дисконтирования – для долгосрочных зданий (50+ лет) даже небольшое изменение  $r$  может кардинально изменить ROI, особенно если предотвращённый ущерб отдалён во времени. Поэтому норма дисконта для пожарных инвестиций должна выбираться консервативно, с учётом государственных гарантий или страхового покрытия, понижающих риск для инвестора [2].

Ещё один аспект, часто упускаемый из виду, – это влияние огнезащитной обработки на страховые тарифы. Многие страховые компании предоставляют скидки до 30–50 % на премию по имущественному страхованию при наличии сертифицированной пассивной защиты, и эти скидки можно напрямую включить в экономию как часть предотвращённых косвенных убытков. Для

Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

зданий с высокой пожароопасностью (нефтепереработка, лесопильные цеха) огнезащита может быть условием самого страхования, и её отсутствие делает бизнес невозможным – тогда ROI стремится к бесконечности, а инвестиции вынужденны. В жилом и общественном секторе, напротив, страховые скидки невелики, и доминирующим фактором становится предотвращение гибели людей – но человеческая жизнь обычно не имеет прямой рыночной оценки, что выводит расчёт ROI за рамки чистой экономики в область социальной эффективности. Тем не менее в предлагаемой методике рекомендуется использовать так называемую «стоимость статистической жизни», принятую в стране (в России ориентировочно 50–70 млн руб.), внося соответствующую компоненту в косвенный ущерб. Это резко повышает рентабельность огнезащиты для объектов с массовым пребыванием людей, даже если вероятность интенсивного пожара невелика.

Сравнительный анализ результатов расчётов для зданий разных классов показывает, что медианное значение ROI для огнезащитной обработки составляет: для складских комплексов класса А – от 80 до 200 %, для торговых центров – от 30 до 90 %, для офисных зданий – от –20 до +40 %, для больниц и школ – от 150 % и выше (за счёт учёта человеческих жизней) [1]. При этом разброс внутри каждого класса огромен из-за различий в реальной пожарной нагрузке и качестве систем активной защиты. Характерно, что в зданиях, где вероятность пожара низка, но потенциальный ущерб катастрофичен (например, дата-центры, архивы), даже огнезащита с отрицательным ожидаемым ROI может быть оправдана по критерию минимизации максимальных потерь (принцип Вальда) [3,4]. Таким образом, методика расчёта рентабельности инвестиций не отменяет, а дополняет нормативные требования пожарной безопасности, позволяя находить баланс между затратами и рисками.

Ограничением рассмотренного подхода является предположение о стационарности вероятностных распределений на всём жизненном цикле здания. В реальности частота пожаров, интенсивность и эффективность огнезащиты могут меняться (например, из-за старения покрытия, изменения профиля арендаторов, модернизации систем активной защиты). Поэтому для точного расчёта следует применять динамическое вероятностное моделирование с обновлением данных каждые 5–10 лет. Также методика требует большого объёма исходных данных, которые часто отсутствуют в открытом доступе, что заставляет использовать экспертные оценки и вносить консервативные допуски. Тем не менее даже приблизительный расчёт по описанным формулам значительно точнее интуитивного «давайте сделаем как везде» и позволяет обоснованно выделять средства на огнезащиту в бюджетах строительства и реконструкции.

В качестве вывода можно констатировать, что методика расчёта рентабельности инвестиций в огнезащитную обработку строительных конструкций с учётом вероятности пожара различной интенсивности представляет собой полноценный инструмент принятия решений, основанный на синтезе пожарной статистики, теплофизического моделирования и финансового анализа. Она позволяет отказаться от мифа о безусловной нерентабельности пассивной защиты и выявить ситуации, где каждый вложенный в огнезащиту рубль предотвращает десятки и сотни рублей потенциального ущерба. Внедрение данной методики в нормативную базу и программные комплексы BIM-проектирования способно существенно повысить обоснованность противопожарных мероприятий, снизить общие затраты на безопасность при сохранении, а в ряде случаев и повышении уровня защищённости людей и имущества.

**Библиографический список**

1. Аксенов С.Г., Гайнцева А.А., Лукьянова И.Э. Анализ свойств огнезащитного покрытия конструкций вспучивающейся краской // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 6 (140). С. 147-154.
2. Аксенов С.Г., Курочкина А.С., Губайдуллина И.Н. Анализ и оценка последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на промышленных предприятиях // Грузовик. 2022. № 9. С. 41-43.
3. Полевода, И.И. Огнестойкость современных строительных конструкций из железобетона: монография / И.И. Полевода [и др.]: под ред. И.И. Полеводы. - Минск: УГЗ, 2023. - 420 с.
4. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона / И.И. Полевода [и др.] // Наука и техника. - 2019. - Т. 18, № 4. - С. 319-329.
5. Ширко, А.В. Прочностной расчет железобетонных плит при пожаре с использованием программной среды ANSYS / А.В. Ширко [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. - 2014. - № 1 (19). - С. 48-58.
6. Нехань, Д.С. Моделирование прогрева центрифугированной железобетонной колонны с учетом анизотропии теплофизических характеристик бетона по сечению / Д.С. Нехань, С.М. Жамойдик, И.И. Полевода // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. - 2019. - Т. 3, № 4. - С. 366-377.