***С.В. БЕЛОДЕДЕНКО, Г.Н.БИЛИЧЕНКО*** *Национальная металлургическая академия Украины*

***S.V. BELODEDENKO, G.N.BILICHENKO*** *National metallurgical academy of Ukraine*

**МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РИСК-АНАЛИЗА И БЕЗОПАСНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**QUANTITATIVE RISK-ANALYSIS METHODS AND MECHANICAL SYSTEMS SAFETY**

Начало формы

The features construction of the Farmer’s diagram as a basic tool of quantitative risk- analysis, which is complemented by the analytic hierarchy process and safety index. It is shown that the level of risk and safety index are diagnostic parameters to assess the technical condition of the mechanical systems. Described the problem of their safety in the metallurgia. With regard to the advantages metallurgical equipment unit of risk analysis methods to the theory of reliability.

Рассмотрены принципы построения системы технического обслуживания и ремонта на основе смешанных экс-плуатационных стратегий. Приведены результаты ее функционирования в доменном цеху. Удалось снизить вдвое относительное время простоев и тихих ходов доменных печей. Также вдвое увеличен их срок службы до капитального ремонта 1 разряда. – синонимы

Рассмотрены принципы построения системы технического обслуживания и ремонта на основе смешанных экс-плуатационных стратегий. Приведены результаты ее функционирования в доменном цеху. Удалось снизить вдвое относительное время простоев и тихих ходов доменных печей. Также вдвое увеличен их срок службы до капитального ремонта 1 разряда. – примеры

Похожие слова

Рассмотрены принципы построения системы технического обслуживания и ремонта на основе смешанных экс-плуатационных стратегий. Приведены результаты ее функционирования в доменном цеху. Удалось снизить вдвое относительное время простоев и тихих ходов доменных печей. Также вдвое увеличен их срок службы до капитального ремонта 1 разряда.: варианты перевода

Конец формы

Рассмотрены особенности построения диаграммы Фармера как основного инструмента количественного риск-анализа, который дополнен методами анализа иерархий и индекса безопасности. Показано, что уровень риска и индекс безопасности являются диагностическими параметрами для оценки технического состояния механических систем. Охарактеризована проблема их безопасности в металлургии. Применительно к металлургическому оборудованию показаны преимущества аппарата риск-анализа перед методами теории надежности.

Термин «безопасность» используется во многих областях деятельности человека, как и в отраслях техники. В каждой из них ему придается разное толкование. Под промышленной безопасностью чаще всего понимают деятельность, связанную с минимизацией вреда здоровью и жизни человека, а также вреда окружающей среде от промышленных производств. В такой постановке на первый план выходят вопросы техники безопасности и охраны труда, безопасности жизнедеятельности, которые решаются, преимущественно, организационными методами. Однако рост числа катастроф техногенного масштаба, числа тяжких производственных аварий показал, что наряду с организационными методами следует использовать специфические методы, объединяемые понятием технической безопасности.

К проблеме технической безопасности специалисты обратились в 50-х годах прошлого века, связывая ее, в первую очередь, с ошибками операторов, управляющих техническими системами. Была установлена предельная их частота (0,01…0,02), которая используется при оценке надежности систем [1]. В 60-х годах стали уделять внимание последствиям отказов, что привело к появлению риск-анализа и метода «дерева отказов» (fault tree). Были разработаны документы, регламентирующие допустимый уровень риска и порядок его определения для отраслей техники. Считается, что первый стандарт MIL STD- 882, в котором безопасность систем фигурирует как самостоятельное направление, появился в 1962 году в министерстве обороны США [1].

Методы оценки безопасности развились из строительной механики, когда в 1959 году В. В. Болотин впервые применил статистическую теорию для оценки сейсмического риска [2]. С тех пор понятие безопасности как синоним надёжности стало применяться для технических объектов, эксплуатация которых предусмотрена до предельного состояния. С 70-х годов в мире начал активно развиваться вероятностный анализ безопасности атомных электростанций, призванный первоначально показать, что от их эксплуатации ущерб здоровью индивидуума и экосфере не превышает потерь от эксплуатации других энергетических систем. Решение аналогичной задачи о том, что воздушные перевозки более безопасны, чем пассажирские перевозки на других видах транспорта, способствовало интенсивному развитию авиации. Успехи развития вероятностных методов безопасности в ядерной энергетике и авиации побудили их использование для оценки ресурса потенциально опасных механических систем, практически, во всех отраслях техники.

Единого устоявшегося определения термина безопасности не сформулировано. Применительно к техническим системам безопасность определяется или как их свойство (подобно надежности, являясь одним из ее показателей), или как их состояние. На наш взгляд последнее определение вернее, поскольку отражает не только стадии проектирования и изготовления, но и процесс эксплуатации. Во второй части определения повсеместно безопасность характеризуется непревышением текущих рисков своих допускаемых уровней. Из этого следует, что произошел отход от концепции абсолютной надежности к концепции приемлемого риска. Эта концепция четко проявилась к 90-м годам. Таким образом, **безопасность технической системы есть состояние, когда эксплуатационные риски не превышают приемлемых уровней.** В свою очередь, согласно «Технического регламента безопасности машин» - руководящего документа КМ Украины, риск трактуется как **комбинация вероятности и степени тяжести** отказа, прежде всего, сопровождаемого травмой или ущербом здоровью людей.

Переход от надежности к безопасности совпал по времени с внедрением концепции приемлемого риска, отразившей необходимость создания экономных по энерго - и материалоёмкости, а так же по техническому обслуживанию машин и конструкций. Потребителя интересует не столько собственно надёжность, сколько минимизация ущерба от отказов. То есть важна функция (результат), которую реализует надёжность, а не сама она как средство. Поскольку для сложных технических систем (а таковыми являются силовые конструкции технологического оборудования и транспортных средств, имеющие много потенциально опасных мест и воздействующих на них повреждающих процессов) абсолютная надёжность недостижима, то для них следует обеспечивать необходимый уровень безопасности, назначение которого тесно связано с риск-анализом [1] .

***Показатели риска и кривая Фармера*.** Риск является мерой опасного состояния. Его снижение соответствует росту безопасности. Вычислять риск принято как функцию двух переменных по формуле:

*i=f∙S,* (1)

где *f*- частость отказов аварийного характера [аварии/ время], а *S*- интенсивность ущерба от них по отдельности [ущерб/ авария ].

Следовательно, риск измеряется через [ущерб/ время]. Особенность данного подхода заключается в том, что обе переменные взаимозависимы. В 1967 году это установил Ф.Фармер, когда исследовал связь между величиной радиоактивных утечек из ядерного реактора и периодом их появления. На этом основании постулировано, что более тяжкие по ущербу аварии происходят реже, нежели более мелкие. Данная взаимосвязь получила название кривой (или диаграммы) Фармера или F-N кривой. Ее аналогом в статистической механике является кривая распределения выбросов (перегрузок). Кривая Фармера может быть представлена в двух вариантах: а) по оси ординат откладывается дискретная частость *f* числа отказов с ущербом *S*; б) по оси ординат откладывается накопленная частота *Fn=f1+ f2+…+ fn* для числа уровней n c тяжестью аварии N (отсюда- F-N кривая), если n=1 N=Nmax.

Имея в качестве параметра уровень риска *i* , F-N кривая является линией равного риска, показывая сколько мелких аварий соответствуют по ущербу одной крупной. Для идеальной кривой Фармера (называемой кривой нейтрального риска) из определения (1) следует, что на 10-кратное увеличение ущерба от аварии приходится 10-кратное снижения частоты ее появления (рис.1). Получают F-N кривую апостериорно путем наблюдений за эксплуатацией некоторого количества однотипных технических систем или путем испытаний на надежность единиц оборудования (машин). Процесс получения такой информации длительный и затратный. Хотя такие результаты характеризуют техническую систему в целом (что положительно), но ее стоимость высока (испытанный экземпляр, как правило, негоден) и ущербы от отказов велики.

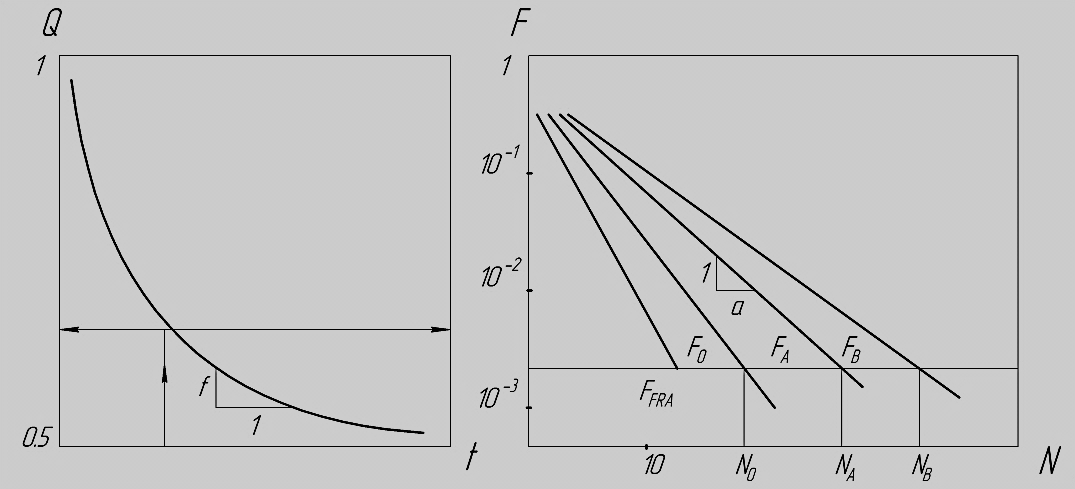


Рис. 1. Функция надежности Q-t и F-N диаграммы для нейтрального риска F0, а также для рисков по сценариям с последствиями (FA и FB).

Результаты наблюдений можно проецировать на конкретную техническую систему, используя серийность объекта. Например, в металлургии аварии с ущербом 100 тыс.- 100 млн. долларов происходят с частотой 0,001- 0,0001 [3]. То есть, одна крупная авария случается на Z= 103-105 объектов. Однако, неясно сколько объектов Z должно фигурировать в анализе: или Z<10 – число уникальных доменных печей, или Z≈500 – примерное количество всех доменных печей, по которым велось наблюдение.

Продуктивнее трактовать безопасность через время работы технической системы до аварии соответствующего масштаба[4]. Тогда частота будет *f = Q /t* (рис.1). Подставив это выражение в (1) получаем *i = Q∙S /t.* Переходя к индивидуальной оценке риска отказа конкретного элемента технической системы можно считать, что:

*i = Qt∙Si,* (2)

где *Qt –*вероятность отказа за время эксплуатации *t,*

*Si* – ущерб от отказа *i-*го элемента технической системы, или ущерб от аварии *i-*ой категории технической системы.

В таком виде риск получает связь со временем эксплуатации и может характеризовать техническое состояние объекта (рис.2). Для технической системы по правилу суммирования вероятностей отказов, а значит - и рисков, имеем:

*iΣ =∑ Qti∙Si. .* (3)

Имея уровень ущерба от отказа всей технической системы *SΣ*, обозначив значимость от отказа *i-*го элемента как критичность *ui = Si /SΣ* , получаем:

*iΣ =SΣ∙∑ Qti∙ui. .* (4)

Таким образом, сравнивать риски в пределах одного объекта можно по безразмерному выражению, находящемуся под знаком суммы, который можно называть безразмерным риском:

ρΣ = ∑ρi = *∑ Qti∙ui* . (5)

На этом основании риск можно трактовать как произведение вероятности отказа на его значимость. Для базовых элементов конструкций и ответственных деталей, обладающих значительным потенциалом в нанесении ущерба, отказ которых равносилен потере работоспособности технической системы, и у котрых *ui=1,* безопасность представляется вероятностью безотказной работы: *R = 1- ρ*. Изучением вероятностных аспектов безопасности занимается значительное число специалистов в области прочности, используя при этом вероятностно-физические методы, учитывающие природу отказов [4-6]. Диаграмма Фармера является продуктом математико-статистических методов обработки, индифферентных к природе повреждающих процессов.

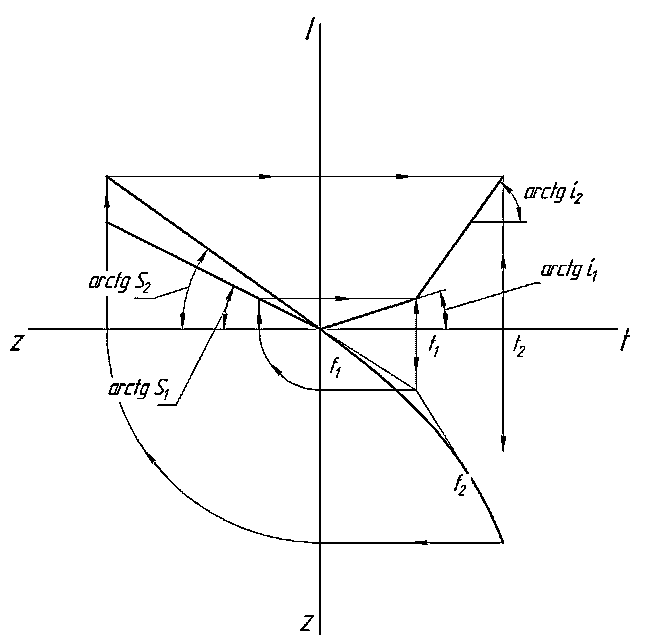


Рис. 2. Схема формирования кинетики абсолютного ущерба I в процессе эксплуатации (׀ квадрант) на основании кривой отказов z за время эксплуатации t (׀׀ квадрант).

В теории технического обслуживания аналогом риску выступает интенсивность эксплуатационных затрат (удельные затраты) *с* на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), измеряемая в тех же единицах (линия *С*, рис.3). Фактически, риск – это внеплановая часть расходов на ТОиР *I0*, отнесенная к гарантированному времени эксплуатации (линия *I*, рис.3). Но риск учитывает не только расходы на восстановление *Ср*, но и потери производства, в том числе, и социального характера *IА*. В теории ТО этому также есть аналог- коэффициент упущенной выгоды [7]. Постоянство риска свидетельствует о линейном характере роста расходов на ТОиР и потерь во времени ( линии *С*, *I*, рис.3).

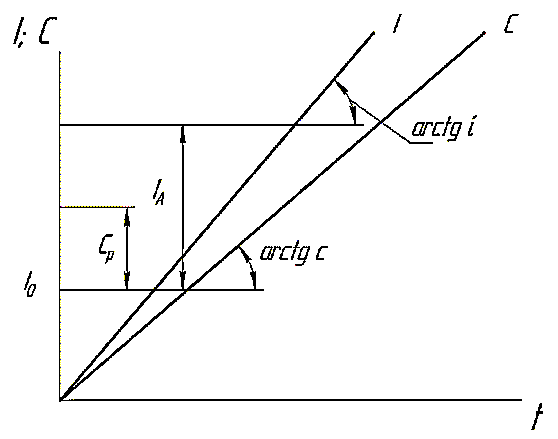


Рис. 3. Сравнительная кинетика роста абсолютного ущерба *I* и роста издержек на ТОиР *С*.

Риск, являясь мерой интенсивности ущерба, может являться диагностическим параметром, определяющим момент восстановления или период эксплуатации. Это видно по его связи с кривой отказов *z-t* (рис.2), которая представляет собой монотонную функцию с возрастающей интенсивностью [7]. Если величина *i=const*, процесс эксплуатации является установившимся. Резкое увеличение наклона функции потерь *I-t,* когда *i2>i1* (рис.2), свидетельствует о необходимости ремонтных воздействий.

Недостаток диаграмм Фармера связан с несовершенной оценкой влияния отказов с низкой частотой возникновения и высоким уровнем повреждений [8]. Следует обратить внимание, что полученная Фармером зависимость между радиоактивностью реактора и временем его эксплуатации не соответствовала кривой нейтрального риска, располагаясь в зоне приемлемого риска (FFRA, рис.1). Образуется ситуация, когда объект не воспринимает риск на ожидаемом уровне, выполняя более оптимистичный сценарий. Соответсвующая такой ситуации F-N диаграмма называется кривой невосприятия риска (RA- risk aversion) с уравнением:

*F = F1∙N-a*(6)

*F1*- частота появления отказов с условно единичным ущербом,

*а* – коэффициент неприятия риска (aversion factor).

По-видимому, рассматриваемый эффект сопряжен со свойствами механической системы, законами старения ее элементов и имеет объективный характер.

Для кривой нейтрального риска *а=1*. Обычно для FRA-кривой *а=2* (кстати, у Фармера получено *а=1,5*). Из этого следует, чтобы 10 «легких» аварий приносили такой же ущерб, как одна «тяжелая», то они должны происходить в 100 раз чаще, чем она.

Известны также уравнения кривой неприятия риска вида [9]:

*i =Q1/a∙S* или ** или ** , (7)

где *a1=1-1/a.*

Учитывая, что обычно вероятность отказа измеряется через множитель *10-n* (*n*- целое число), для RA-кривой имеем: *i= 10-n/a∙S*. В таком случае частота аварий может быть в *а* раз выше, чтобы получить «нейтральный» ущерб. Или же: при *а=1,5* для *Q=10-6* ожидаемый уровень потерь будет в 100 раз меньше, а для *Q=10-9*- в 1000 раз меньше. Чем ниже вероятность отказа, тем больше степень снижения риска от его нейтрального значения.

Однако, для редких отказов с существенным повреждающим эффектом возможна и противоположная картина. Подобные отказы, имея одинаковую частоту, могут приносить разные ущербы. Один и тот же отказ может быть устранен за короткий или за более длительный срок. Это объясняется характером развития аварии, который может быть формализован соответствующим сценарием, являющимся, своего рода, продолжением дерева отказов вплоть до восстановления технической системы. То есть, следует учитывать различные последствия одного и того же отказа. Его минимальная тяжесть соответствует максимально быстрой замене отказавшего элемента. Если отказ провоцирует последующую цепочку отказов, то его тяжесть будет *NB >NA >N0* (рис.1). Тогда кривая нейтрального риска трансформируется в кривые повышенного риска (*FA, FB* рис.1). Поскольку отказы малой тяжести (верхняя часть диаграммы) сопряжены с меньшими последствиями, то новые F-N кривые будут иметь меньший наклон и величину *а<1*. Данное явление отражает не только свойства технической системы, но и организацию производства с системой ТОиР. Оно имеет субъективный характер.

***Метод анализа иерархий (МАИ).*** По мнению ряда специалистов, использование коэффициента неприятия риска не решает указанную проблему F-N кривых, а наоборот, добавляет неопределенность в риск-анализ [8]. Более перспективным представляется МАИ (AHP- analytic hierarchy process). Суть его связана с представлением F-N диаграммы в ступенчатой форме, подобно гистограмме. В результате образуются области i, имеющие масштаб ущерба Ni и вероятность Qti (рис.4). Каждый сценарий имеет свою конфигурацию j, а каждая ступень в нем имеет локальную критичность *ui=Ni /Nmax*. Тогда по (5) можно найти безразмерный уровень риска *ρj*  для каждого сценария. На основании этого определяется тотальная критичность отказов каждой области в каждом сценарии:

 . (8)

Обратим внимание, что  . Сумма уровней тотальной критичности внутри сценария . Ее максимальное значение определяет наиболее предпочтительный сценарий развития отказа. Подставляя значения *uij* в (5) вместо *ui* для *i=n* ступеней и для  *j=k* сценариев получают обобщенное (тотальное) значение риска.

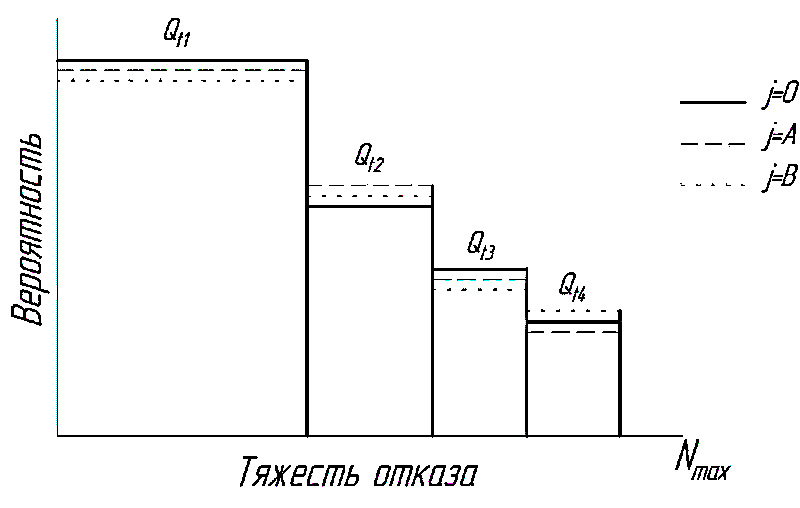


Рис. 4. Разделение F-N диаграммы на области для пояснения алгоритма определения тотальной (обобщенной) критичности отказа.

Применяемый в риск-анализе МАИ подобен процедуре нахождения обобщенного (эквивалентного) режима нагружения по *i* ступеням и *j* условиям эксплуатации.

Несмотря на ряд недостатков диаграмма Фармера остается основным инструментом количественного риск-анализа. Имеется немало вариантов ее эволюционирования [8-11]. В частности, эффективно добавлять к ней построение логико-вероятностных моделей в виде дерева отказов и сценариев аварий. С их помощью возможно от апостериорного характера получения F-N диаграммы перейти к ее априорному характеру [1]. Кроме этого, дерево отказов позволяет находить вероятность появления аварийной ситуации, которая во многих случаях равносильна вероятности отказа. Например, взрыв газовой смеси внутри металлургического агрегата ведет к потере его работоспособности, но предсказать достаточно уверенно соответствующий этому ущерб сложно. Поэтому основная концепция обеспечения безопасности связана с предотвращением аварий, а следовательно, необходимо диагностировать и предупреждать инициирующие отказы. Сценарий аварий совместно с МАИ позволяет в разной степени усиливать значимость инициирующих отказов, отчего возрастает текущий риск (рис.5). Контролируя его персонал страхует оборудование от потенциально неприемлемого ущерба.

В 1993 году на Днепровском металлургическом комбинате произошла, возможно, самая крупная в черной металлургии авария, уничтожившая доменную печь №7 и унесшая жизни около 30 человек. Непосредственно причиной разрушения конструкции печи послужил взрыв внутри нее. Ему предшествовала, согласно акту расследований, цепочка событий и действий персонала, нарушивших 11 пунктов положений о технической эксплуатации. Причем каждое нарушение в отдельности не могло привести к подобному результату. Наблюдалось неблагоприятное сочетание 8 производственных факторов. Подобный сценарий сложно спрогнозировать, не имея прецедента. Все это говорит об актуальности проработки аварийных сценариев.

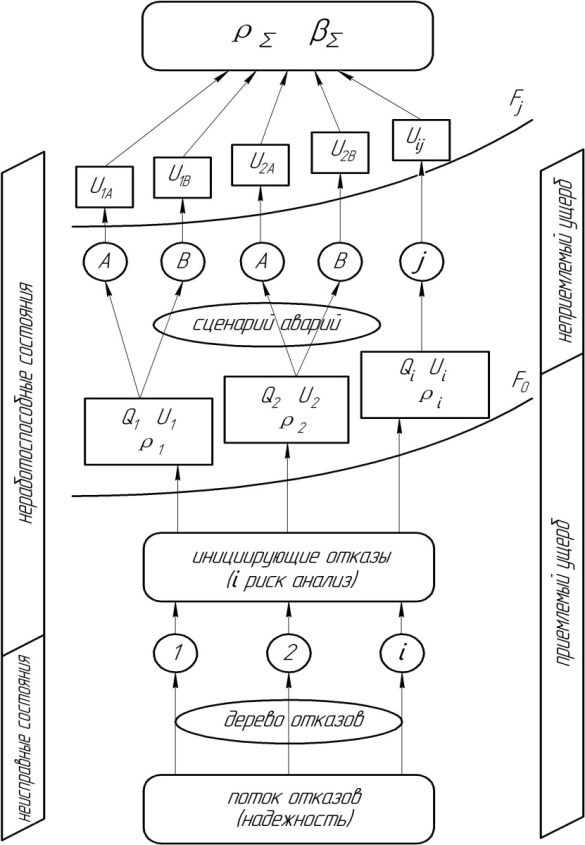


Рис. 5. Схема алгоритма риск-анализа и обеспечения безопасности

***Метод индекса безопасности.*** Использование для контроля технического состояния непосредственно риска как диагностического параметра может быть некомфортно. Это связано с некоторыми особенностями.

1) Риск ρ, в силу его связи с вероятностью безотказной работы, малочувствителен к изменениям технического состояния системы на весьма длительном интервале эксплуатации [12].

2) Сложно объективно установить предельно допустимый уровень риска.

3) Достоверность его оценки зависит от достоверности оценки инициирующего отказа. Обычно она производится посредством математико-статистических методов, точность которых достаточна для прогнозирования экономических потерь. Для контроля технического состояния необходимо применять вероятностно-физические методы.

Все это учитывает такой показатель риска, как индекс безопасности, представляющий собой логарифм гарантированного запаса долговечности:

 , (9)

где *n0R* –долговечность, найденная по функции ее распределения для заданной вероятности безотказной работы R

*nΣ(1-R)* – показатель наработки.

Наработку механической системы удобно контролировать в процессе эксплуатации, величина *βR* достаточно чутко реагирует на нее, а предельное значение, гарантирующее безопасность, будет *βR=0*.

Для функции надежности экспоненциального вида в области высоких вероятностей

, (10)

где  *d –*повреждение в виде относительной долговечности.

Откуда следует, что текущее повреждение элемента механической системы *i* от деградационного процесса *j* будет *dij=Qt*. То есть, накопленное повреждение вполне характеризует риск эксплуатации и потерю работоспособности. Тогда возможно определять риск системы как

 (11)

Поскольку повреждение *dij* изменяется со временем наработки, то подобно ему изменяется и величина *ρΣ*.  Учитывая, что гарантированный запас долговечности обратнопропорционален гарантированному повреждению  а индекс безопасности - его логарифм имеем: *βR= - lg dR* или .

Используя (11) окончательно получаем:

 (12)

где *βijp* – индекс безопасности *i* – го элемента для *j* - го повреждающего процесса, полученные по функции распределения ресурса и наработки для вероятности *R.*

Благодаря ресурсной трактовке вероятности отказа метод индекса безопасности пригоден для оценки риска внезапных и постепенных отказов. На его основе построена стратегия технического обслуживания с контролем безопасности, а также алгоритм продления ресурса транспортных средств [12-14].

***Проблема безопасности оборудования в металлургии.*** По интенсивности ущерба от аварий металлургия занимает 4-5 место после ракетно-космической техники, ядерной энергетики, химических реакторов, опережая горнодобывающую отрасль, транспорт, строительство, машиностроение [3]. В металлургическом комплексе Украины насчитывается 70 объектов повышенной опасности. В нем **ежегодно** лишалось жизни от 42 до 114 человек (наблюдения за 15 лет) [15]. Это довольно много. В РФ, где число металлургов примерно в 2 раза выше, смертность почти в 2 раза ниже. Не прослеживается связь между объемом производства и количеством аварий со смертельным исходом. Системной статистики аварий, не связанных с травматизмом, в Украине не ведется [15]. Проявляется негативная тенденция, когда менеджмент предприятий неохотно освещает факты аварий, не дает согласия на публикацию результатов обследований технического состояния оборудования, выполненными сторонними профильными организациями. Судя по открытой информации в металлургическом комплексе Украины происходит 3-6 аварий в месяц [15]. Это соответствует ежегодному количеству крупных аварий на одном Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК) [16].

Уже этих данных достаточно, чтобы констатировать наличие проблем с аварийностью и безопасностью в украинской металлургии. Если не предпринимать адекватных мер, то ситуация будет только усугубляться, так как износ основных фондов чрезвычайно велик (по различным данным- 60-80%).

В 2013 году Кабинетом Министров Украины принят «Технический регламент безопасности машин», который предписывает производить оценку риска после капитального ремонта оборудования, если оно опасно не только для здоровья людей, но и для целостности имущества. В металлургии более детально проработаны пожароопасные аспекты риска, но недостаточно внимания уделяется, так называемой, конструкционной безопасности [16]. Хотя именно поломки элементов конструкций являются источниками инициирующих отказов, которые являются причиной таких аварий, как падение грузов, травмирование движущимися частями машин. Их доля - не менее 60% из всех причин аварий [17]. Разрушение конструкций также является источником многих аварий с выбросом расплавленного металла. Например, в январе 1998 года на ММК кислородная фурма упала в конвертер, в результате чего произошел взрыв. Трое травмированных, один из которых скончался. Источник аварии – разрушение бурта муфты привода механизма подъема и последовавшее рассоединение силовой цепи[17]. В декабре 2012 года на МК им. Ильича у МНЛЗ-2 произошло падение ковша 150т с жидкой сталью, которая залила 250 м2 площади цеха и унесла 2 жизни. Источник аварии- трещины усталости и дальнейшее разрушение консольной несущей балки поворотного разливочного стенда.

Методология надежности, доминирующая в решении вопросов эффективной эксплуатации механических систем в металлургии, не вполне отвечает условиям использования технологического оборудования. Как известно, проблема создания технологического оборудования имеет две составляющих: 1) обеспечение функционирования и 2) обеспечение прочности и ресурса. Пока не отработана первая составляющая, недостаточно внимания уделяется второй, решая ее за счет материалоемкости. К середине 20 столетия были отработаны и стали типовыми основные схемы металлургических машин, для которых стали актуальными проблемы надежности. Этому также способствовала послевоенная интенсификация производства. Возросшая частота и амплитуда циклических нагрузок, не учитываемых расчетами на прочность в статической постановке, приводили к преждевременным отказам.

Предусмотреть их были призваны методы надежности. Их развитие связано с бурным ростом радиоэлектроники, системы которой часто выходили из строя. Теория надежности, основанная на математической статистике, ориентирована на электронные технические системы. В аспекте темы настоящей работы можно отметить, что стоимость элементов этих систем, как правило, одного порядка, как и ущерб от их отказов. Поэтому находить надежность всей системы по надежности ее отдельных элементов можно без использования «весовых» коэффициентов. Но вследствие этого расчетная надежность системы, состоящей из значительного числа элементов, оказывается заниженной по сравнению с фактической. И это невзирая на использование различных законов обобщения. Поэтому необходимо испытывать всю техническую систему, а не ее элементы [18]. В любом случае функция надежности (или отказов) технической системы, включающая отказы разного масштаба, получается излишне «размытой» (рис.6). Иллюзия низкой реальной безопасности, когда после сравнительно малой наработки появляется вероятность отказа, побуждает: а) нести дополнительные расходы на ремонт еще годного оборудования; б) не обращать внимания на прогнозные показатели надежности и эксплуатировать объект до отказа.

Применительно к металлургическому оборудованию получил распространение концептуальный подход к надежности как вероятностной прочности. Он позволяет находить функцию распределения долговечностей для детали, открывая возможности снижения их материалоемкости при проектировании и индивидуального прогнозирования остаточного ресурса при эксплуатации. Но как показал 50-летний срок известности данной концепции, она не получила должного распространения в металлургии. На наш взгляд, это обусловлено сравнительной сложностью и трудоемкостью использования вероятностно - физических методов для достоверного определения ресурса. В то же время были занижены стимулы по созданию экономного по материало- и энергоемкости, а также экономного в обслуживании и ремонте оборудования. Проще применять «жесткую» по регламенту систему планово- предупредительных ремонтов, обоснованную математико-статистическими методами. Примечательно, что в металлургии наибольший эффект от применеиия критериев надежности ощущается при компоновке технологических линий металлургических агрегатов.

Для надежной оценки вероятности безотказной работы всей технической системы необходима представительная выборка результатов, полученная для идентичных условий испытаний. На этом базируются математико- статистические методы надежности. Для уникальных, в большинстве, металлургических машин получить подобную выборку нереально: крупные отказы случаются, но не часто, а частые мелкие отказы слабо влияют на безопасность. Обработка же результатов в виде диаграммы Фармера не сопряжена с большим числом однотипных испытаний технической системы (рис.6). Аппарат риск-анализа более восприимчив к вероятностно-физическим методам, поскольку он позволяет путем суммирования индивидуальных показателей рисков элементов переходить к показателям всей системы. Показатели отдельных элементов относительно несложно и недорого можно получить при их непосредственных испытаниях.

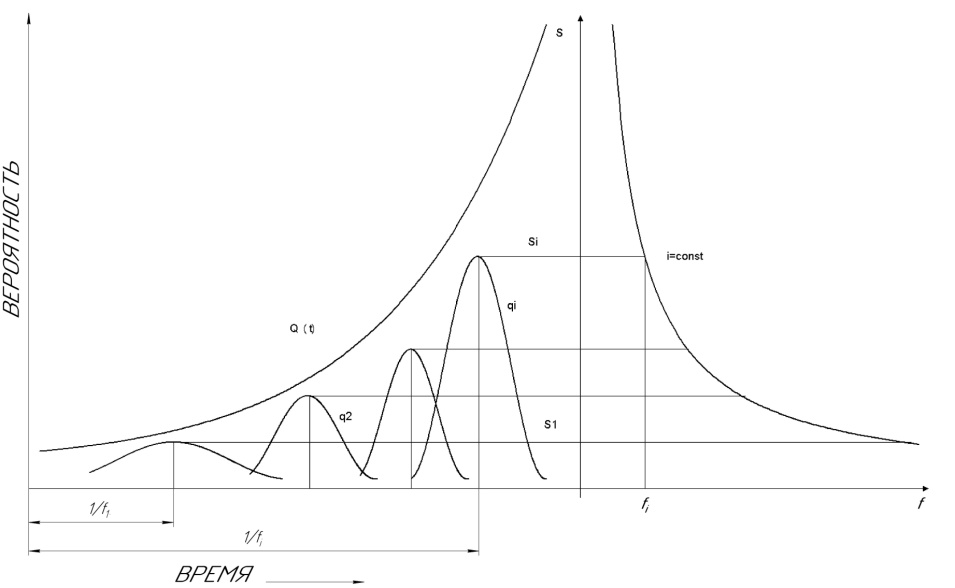


Рис. 6. Формирование функции вероятности отказов Q(t) технической системы по функциям распределения долговечности её элементов (показаны плотностями qi), а также формирование кривых. Фармера по интенсивности ущерба S и периодичности отказов Ti=1/fi.

***Заключение.*** Одними организационными методами, связанными с соблюдением правил эксплуатации и техники безопасности, невозможно добиться достаточного длительного нахождения технической системы в безопасном состоянии. Дополнительно к этим методам необходима доведенная до технологии система технического обслуживания и ремонта. С экономической точки зрения оборудование с высоким потенциалом по ущербу целесообразно обслуживать при контроле риска его эксплуатации. Одним из диагностических параметров может выступать текущий индекс безопасности, при подсчете которого значимость определяется с учетом различных сценариев развития отказов.

В настоящее время усилия специалистов- механиков сосредоточены, в основном, на оценке вероятности безотказной работы как универсальном средстве в обеспечении надежности, безотказности и безопасности. Совсем мало внимания уделяется разработке разработке логико- вероятностных моделей – дерева отказов, сценариев аварий для механических систем. Но благодаря им можно более объективно оценить значимость инициирующего отказа, влияющего текущий на риск и срок эксплуатации.

В этой связи следует преодолеть отмеченную выше тенденцию неразглашения данных об авариях. Благодаря им специалисты, фактически, получают очередной результат в совместные исследования механических систем в условиях эксплуатации. Проведение подобных испытаний силами одной организации противоречит трендам современной науки.

**Литература.**

1. Henley E. J., Kumamoto H. Reliability engineering and risk assessment. - Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.|J. 07632.-1981.-528 p.

2. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. - 312 с.

3. . Северцев М.А., Дедков В.К. Системный анализ и моделирование безопасности. - М.: Высш. шк., 2006. – 462 с.

4. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета.- М.: Машиностроение, 1985.-296с.

5. Cioclov D. Mechanical failure risk-assessment in load carring components // 5-th Int. Conf. Structural integrity of welding structures.- Timisora, Romania,2007.- 24p.

6. Махутов Н.А. Роль механических испытаний в обосновании прочности, ресурса и безопасности // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.-2007.-№9.-С.56-63.

7. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание.- М.: Радио и связь, 1988.-392 с.

8. Vollmann G., Thewes M., Kamarianakis S. Evaluation and interpretation of F/N-curves: development of a new tool for transparent and traceable decision making// 6-th Int. conf. “Tunnel safety and ventilation.”- Graz, 2012.- p.49-57.

9. Momal P. Estimating Farmer’s risk aversion// Probabilistic safety assessment and management. - Honolulu, Hawai, 2014.-8p.

10. Елисеева М.А., Маловик К.Н. Развитие диаграммы Фармера для оценивания безопасности объектов критического применения // Стандарты и качество.-2013.-№7.-7с.

11. Острейковский В.А. Математическое моделирование техногенного риска от эксплуатации нефтегазового оборудования // Вестник кибернетики.- 2012.- С.72-76.

12. Прогнозирование технического состояния и обеспечение безопасности при эксплуатации механических систем в металлургии/ С. В. Белодеденко, В. И. Гануш, С. В. Филипченков, А. В. Попов // Вибрации машин: измерение, снижение, защита. - 2011. - №1. - С. 15 - 22.

13. Основи технічного обслуговування механічних систем за контролем безпеки/ С. Білодіденко, Г. Біліченко**,** В. Гануш, А. Попов // Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту. - 2011. - спецвипуск, ч. 1. - С. 170 - 178.

14. Belodedenko S.& Ganush V. Models of technical safety and risk at the estimation and prediction of the condition of vehicles mechanical systems // *Some actual issues of traffic and vehicle safety.-* Silesian University of Technology, Gliwice, 2013. - P.187-212.

15. Аверин Г.В., Москалец В.М. Анализ состояния и безопасности объектов повышенной опасности металлургической отрасли // Вісник донецького ун-ту. Сер.А: Природничі науки.-2008.-Вип.1.-С.324-333.

16. Крылова А.Е., Извеков Ю.А. О подходе к оценке техногенной безопасности металлургического производства// Успехи современного естествознания.-2012.- №6.-С.32-33.

17. Бархоткин В.В., Извеков Ю.А., Миликаев С.Р. Обзор аварий на крановом оборудовании металлургических производств// Международ. журн. фундаментальних и прикладних исследований.-2013.-№10.-С.9-11.

18. Переверзев Е.С., Даниев Ю.Ф. Испытания и надежность технических систем.- Днепропетровск: ИТМ НАН, НКАО Украины, 1999.-224с.