

УДК 669.02/09-192.001.24

к.т.н. Вишнеvский Д. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, dimavish.79@mail.ru)

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА

Разработана математическая модель определения риска на конкретном рабочем месте и производственном участке, которая учитывает влияние на его величину и человеческого фактора путем введения вероятности вынужденных и невынужденных отказов (ошибок) как отдельных органов, так и организма работника в целом.

Ключевые слова: надежность, наработка на отказ, производственный риск, человеческий фактор, ошибки.

Анализ состояния вопроса.

Интенсивность отказа является наиболее удобной характеристикой надежности простейших элементов, так как позволяет просто вычислять количественные характеристики надежности сложных систем по критерию вероятности безотказной работы, поскольку:

- она входит как сомножество в другие, более общие характеристики систем, например, в эффективность и стоимость (цена и стоимость различаются);
- характеризует надежность с учетом изменения во времени [1];
- может быть определена в процессе проектирования систем и оценена в процессе их испытаний.

Такой подход к определению составляющих производственного риска является наиболее целесообразным, поскольку положения Рекомендаций МОТ по совершенствованию СУОТ на всех предприятиях предусматривают его осуществление на основе управления профессиональными рисками, а использование этого понятия является универсальной количественной и качественной мерой опасности. Это особенно важно на стадии стратегического планирования, так как развитие СУОТ путем использования соответствующих подходов к оценке рисков через различные математические модели, в т. ч. не только статистические, позволяет адекватно управлять качеством производственной среды [3].

Постановка задачи. Выполненный анализ показывает необходимость исследования надежности оборудования и производственного риска с учетом человеческих ошибок и машинных отказов совместно.

Материалы и результаты исследования.

Из большого разнообразия способов определения безопасности оборудования, учитывая достаточно большую сложность этого процесса, наиболее подходящим является метод «дерева неисправностей» или «дерева отказов», которое представляет собой топологическую модель надежности и безопасности, воспроизводит логико-вероятностные взаимосвязи между отдельными случайными исходными событиями в виде первичных или результирующих отказов, совокупность которых приводит к главному анализируемому действию.

Близким к приведенному является определение метода «дерева неисправностей» как организованного графического изображения условий и других факторов, которые вызывают нежелательное событие, называемое вершиной событий. Поскольку анализ «дерева неисправностей» связан с определением возможности проявления либо не проявления главного события — события конкретного типа, — то его условия устанавливаются путем выделения из всего массива исходных предпосылок двух подмножеств, реализация которых приводит либо не приводит к воз-

никновению главного события. Такие подмножества делятся на:

- аварийные сочетания, которые представляют определенный набор исходных событий, осуществление которых гарантирует, что конечное событие произойдет;

- отсечные сочетания, которые также представляют набор исходных событий, но в отличие от предыдущих гарантируют отсутствие основного события при условии возникновения любой из составляющих этого набора событий.

Наиболее удобным способом выявления условий возникновения и предупреждения событий является выделение из таких подмножеств так называемых минимальных сочетаний событий или тех из них, появление которых минимально необходимо и достаточно для достижения желаемого результата.

Количественный анализ аварийности и травматизма за счет структурных функций по [1] можно осуществить в следующей последовательности:

- модель делится на отдельные блоки;
- в выбранных блоках выделяются подмножества событий, объединенных условиями «и» и «или»;
- начальное «дерево» и соответствующая ему структурная функция упрощаются за счет их укрупнения;
- рассчитывается мера возможности возникновения события.

При оценке исследуемых числовых характеристик «дерева неисправностей» необходимо учитывать ряд правил и предположений.

1. События «дерева», соединенные логическим условием «и», объединяются по принципу их умножения; при этом считается, что параметр главного события рассчитывается как множество из n параметров предпосылок (сомножителей):

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i.$$

2. События «дерева», соединенные логическим условием «или», объединяются по

принципу логического сложения, а их соответствующие параметры образуют следующую зависимость:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i),$$

которая в отдельных случаях, например, для $n = 2$ и $n = 3$, принимает вид:

$$P_{i=2} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

$$P_{i=3} = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 - P_3 \cdot P_1 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

3. Преобразование и упрощение структурных функций осуществляется с соблюдением основных правил булевой алгебры. В соответствии с законом поглощения справедливы, например, следующие тождества:

$$A \cdot (A \cdot B) = A \cdot B;$$

$$A + (A \cdot B) = A.$$

4. При известных структурных схемах безотказности технических систем и безопасности функционирования они могут быть легко преобразованы в «дерево событий». При этом их параллельно соединенные элементы соответствуют логической операции «и», а последовательно соединенные – логической операции «или» [4].

Анализ методом «дерева неисправностей» позволяет выявлять комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала (объективных и субъективных) и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Этот метод можно использовать для анализа возникновения аварийной ситуации и расчета вероятности отказа на основе установления значений вероятности исходных данных.

Наработка T (ч) на отказ пневмосистемы манипулятора в КПП определяется из:

$$T = \frac{1}{\lambda_{сл}},$$

где $\lambda_{сл}$ — интенсивность отказа слабого элемента системы, ч⁻¹.

Недостаточная надежность оборудования приводит к огромным затратам на ремонт, простой оборудования, прекращению снабжения производственных участков электроэнергией, водой, газом, транспортными средствами, невыполнению ответственных задач, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями, разрушениям больших объектов с человеческими жертвами.

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудовании применяется анализ методом «дерева неполадок». Оценка возможности отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем производится на основе статистических данных по интенсивности их отказа.

При этом вероятность безотказной работы каждого элемента определяется по формуле $P(t) = e^{-\lambda t}$ при заданном t , а соответственно, вероятность отказа каждого элемента будет соответствовать значению, полученному из $P(t) + Q(t) = 1$.

Следовательно, математическая модель определения риска на конкретном рабочем месте и производственном участке должна учитывать влияние на его величину и человеческого фактора путем введения вероятности вынужденных и невынужденных отказов (ошибок) как отдельных органов, так и организма работника в целом. Для этого

можно использовать экспериментальные значения характеристик безошибочности среднестатистического человека, то есть вероятность безошибочного выполнения им производственных функциональных действий [5] (табл. 1, рис. 1) путем их отдельного учета в перечне событий или введением поправочных коэффициентов. Таким образом, причинение вреда здоровью определяется на основе вероятности суммарного проявления не только «технических», но и «человеческих» отказов путем использования указанных коэффициентов в значениях вероятности события.

Такой подход к определению производственного риска является наиболее целесообразным в нынешних условиях эксплуатации КПО, поскольку позволяет учитывать не только степень износа технических систем и их отдельных элементов, но и состояние СУОТ на отдельном участке, включая как организационные, технические, санитарно-гигиенические составляющие, так и психофизиологические. Поэтому развитие и совершенствование системы управления охраной труда согласно OHSAS должны базироваться не только на нахождении новых методов и средств защиты от несчастных случаев и профессиональных заболеваний, но и на выявлении причин и предупреждении новых угроз от современных технологий и оборудования (рис. 1).

Таблица 1

Экспериментальные характеристики безошибочности среднестатистического человека по [5]

№ п/п	Наименование функциональных действий	Вероятность безошибочного выполнения
1.	Выявление декодирования сигнала	0,9700–0,9999
2.	Поиск органов управления и осуществление заданного управляющего действия	0,9610–0,9850
3.	Обнаружение сигнала и принятие решения	0,9380–0,9780
4.	Восприятие информации, ее оценка и принятие решения о работоспособности контролируемых подсистем: - число воспринимаемых признаков 3–5, задержка во времени их появления 10–12 с; - число воспринимаемых признаков 5–6, задержка во времени их появления 15–40 с; - число воспринимаемых признаков 1–2, задержка во времени их появления 10–12 с.	0,875–0,9950 0,4470–0,7830 0,8550–1,00

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Наименование функциональных действий	Вероятность безошибочного выполнения
5.	Считывание показаний стрелочного прибора: - одношкального; - двухшкального.	0,9900–0,9960 0,9850–0,9900
6.	Проверка логического условия типа «или»	0,9960
7.	Нажатие кнопки	0,9985–0,9999
8.	Считывание информации с табло	0,9950–0,9995
9.	Включение тумблера	0,9990–0,9995
10.	Простые реакции по превращению информации прямого или оперативного запоминания	0,9995
11.	Выдача или принятие голосовой команды	0,9998
12.	Поворот переключателя	0,9975–0,9990
13.	Снятие показаний с прибора: - с круговой шкалой; - с линейной шкалой; - с полукруговой шкалой; - электросчетчика; - шильдика.	0,9952–0,9999 0,9975–0,9980 0,9933–0,9975 0,9985–0,9995 0,9985–0,9999
14.	Выполнение действия (движения) за счет: - штурвала; - ручки управления; - маховика; - съемного рычага (ключа).	0,9965–0,9980 0,9936–0,9995 0,9994–0,9999 0,9920–0,9990
15.	Выполнение действия по: - соединению кабеля; - разъединению кабеля; - установке штифта; - открытию вентиля; - подсоединению шланга; - налаживанию прибора; - установке уплотнения; - установке штекера.	0,9986–0,9998 0,9995–0,9999 0,9989–0,9998 0,9980–0,9995 0,9955–0,9970 0,9920–0,9965 0,9910–0,9945 0,9970–0,9985
16.	Выполнение пункта должностной инструкции	0,9915–0,9955
17.	Перемещение человека по: - монтажной площадке; - временному настилу.	0,9990–0,9995 0,9940–0,9975
18.	Использование средств защиты: - страховочного пояса; - съемных ограждений; - переносного заземления.	0,9940–0,9980 0,7500–0,8500 0,8500–0,8900

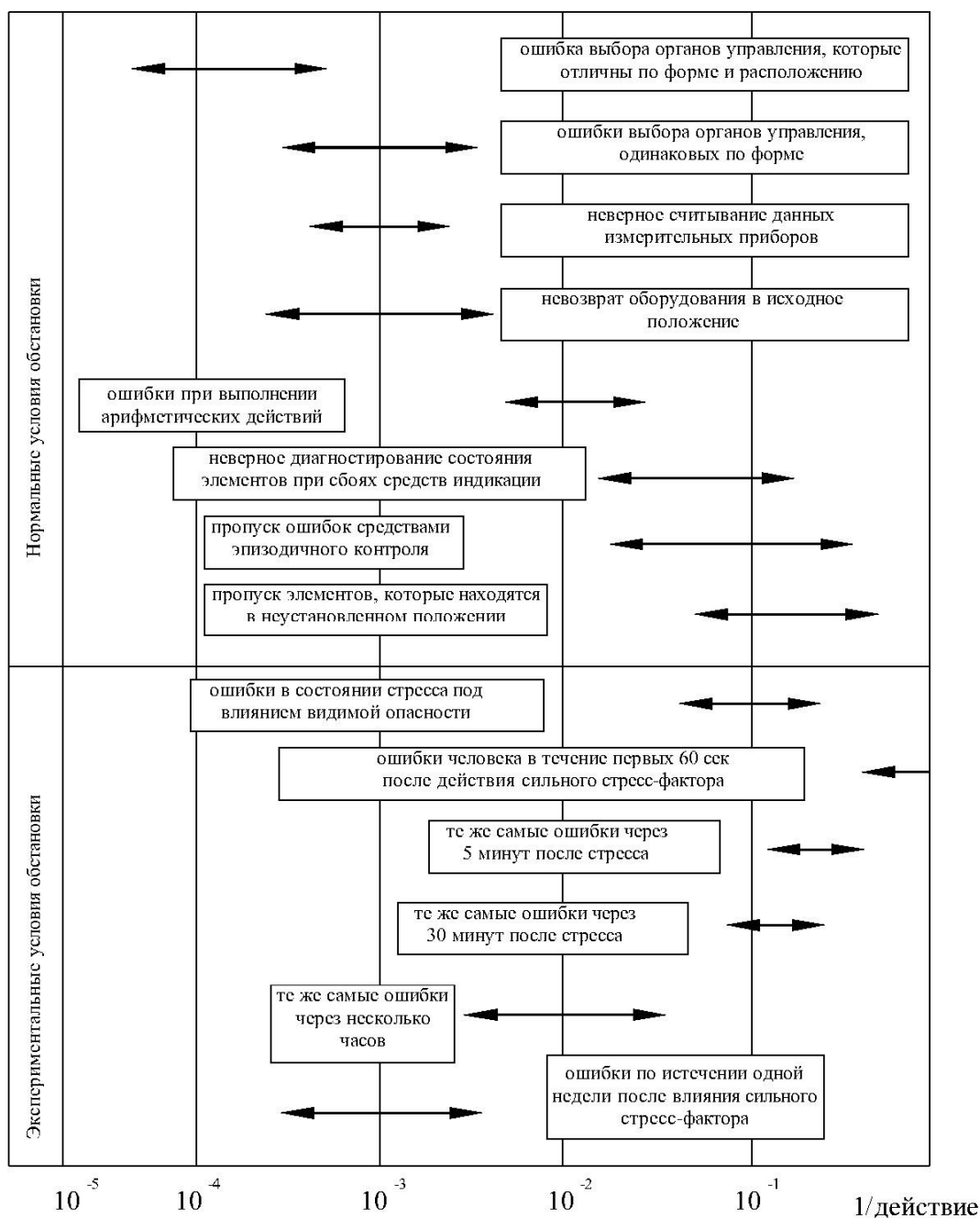


Рисунок 1 Структурная схема диапазонов вероятности возникновения различных ошибок путем отнесения их количества на действие человека-оператора

В связи с этим среди причин возникновения физических и психофизиологических опасностей на рабочем месте, кроме давно известных, но с более возрастающими последствиями, необходимо выде-

литель недостаточную профессиональную пригодность, склонность к опасностям, неудовлетворительную связь между восприятием сигналов и двигательной реакцией, волнение за возможную ошибку в

результате повышенной ответственности за качество работы, несоответствие эргономических показателей оборудования антропометрическим характеристикам работников, наличие бекграундного шума, необходимость значительного количества переналадок оборудования и т. д.

Среди известных угроз физических страданий особую актуальность приобретают те, которые связаны с физическим дискомфортом, нарушением функций систем организма, проявлением аллергических реакций, возникновением новообразований и вегетативных стрессовых реакций, нарушением защитных функций, снижением физической силы и выносливости. В наше время усиливаются и угрозы эмоционального волнения, обусловленные чувствами опасности и опасения, а также аффективными состояниями.

Выводы. Надежность оборудования в большей мере зависит от правильности принятия решений человеком, или, другими словами, от человеческих отказов. Выполняя ряд однообразных операций, рабочий обязан держать в голове множество инструкций при обычных условиях работы и инструкции для аварийной ситуации и, мало того, еще должен их выполнять. В стрессовой ситуации в большинстве случаев человек начинает реагировать после того, как авария уже произошла. В момент принятия решения в экстренной ситуации только стрессоустойчивый психотип смо-

жет выполнить необходимые инструкции. Есть множество рекомендаций по связям типа личностей и профессиональной средой; важно эти рекомендации применять на практике при трудоустройстве на рабочие точки в металлургической отрасли. Связав в единую систему машинные и человеческие отказы, мы научились получать значение производственного риска на рабочих местах, имея наработки на отказ ряда эксплуатируемого оборудования [4]. Аналогичным методом, имея наработки на отказ среднестатистического человека (вероятность совершения ошибки), мы сможем определять надежность оборудования с учетом человеческого фактора.

Для увеличения показателя надежности оборудования необходимо включить в экспертную систему [6] рекомендации по связям типа личностей с профессиональной средой в момент трудоустройства работника, что увеличит надежность оборудования на данном участке. Система будет видеть все психотипы работающего коллектива, в котором один сотрудник будет дополнять другого с психологической точки зрения, и выдавать рекомендации, у кого есть лидерские задатки или какого типа личности в данной бригаде не хватает для более надежной работы группы людей, что приведет к снижению производственного риска на рабочих местах и увеличит надежность оборудования.

Библиографический список

1. Корчагин, А. Б. *Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] : уч. пособие в 2-х ч; Ч. 2 : практикум / А. Б. Корчагин, В. С. Сердюк, А. И. Бокарев. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. — 140 с.*
2. *Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний: OHSAS 18002:2000. Руководящие указания по применению OHSAS 18001:1999. — М., 2000. — 122 с.*
3. Минько, В. М. *Математическое моделирование в управлении охраной труда [Текст] / В. М. Минько. — Калининград : ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. — 184 с.*
4. *Розрахунок надійності устаткування та ризику заподіяння шкоди здоров'ю ковальштампувальника [Текст] / М. А. Касьянов, В. О. Медяник, В. Н. Ульяницький, Д. О. Вишневецький // Збірник наукових праць НМАУ. — Дніпропетровськ, 2013. — С. 50–56.*
5. Белов, П. Г. *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст] / П. Г. Белов. — М. : Изд-во центр Академии ГЗ МЧС РФ, 2003. — 512 с.*

6. Касьянов, М. А. Комп'ютерна програма «Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень в управлінні охороною праці для зменшення травматизму у ковальсько-пресовому виробництві шляхом оцінки та прогнозування ризику на робочих місцях операторів з урахуванням «технічних» і «людських» відмов» [Текст] / М. А. Касьянов, Д. О. Вишневський, І. В. Савченко, О. М. Гунченко // Свідотство про реєстрацію авторського права на твір № 553958. — ДСВІУ. Дата реєстр. 05.03.2014.

© Вишневский Д. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф. каф. АиПТМ ЛНУ им. В. Даля Замотой Т. Н.

Статья поступила в редакцию 10.10.17.

к.т.н. Вишневський Д. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ

Розроблено математичну модель визначення ризику на конкретному робочому місці і виробничій ділянці, яка враховує вплив на його величину і людського фактору шляхом введення імовірності вимушених і невимушених відмов (помилки) як окремих органів, так і організму працівника в цілому.

Ключові слова: надійність, напрацювання на відмову, виробничий ризик, людський фактор, помилки.

PhD Vishnevskiy D. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

CALCULATING THE RELIABILITY OF METALLURGICAL EQUIPMENT AND PRODUCTION RISK

A mathematical model for determining the risk at a particular workplace and production site has been developed, which takes into account the impact on its value and the human factor by introducing the probability of forced and unforced failures (errors) of both individual organs and the organism of the worker as a whole.

Key words: reliability, time between failures, production risk, human factor, errors.