

UDC 622.273

Methodology of Manufacturing Hazards and Accidents Rates Assessment¹ Victor S. Kharkovskij² Valerij M. Plotnikov³ Nikolaj A. Drizhd⁴ Nil' Kh. Sharipov⁵ Kayrat S. Kakenov⁶ Evgeniya V. Komleva⁷ Anna V. Kharlamova¹ Karaganda State Technical University, Kazakhstan

Bulvar Mira 56, Karaganda, 100026

PhD (technical), professor

E-mail: miss-sis@mail.ru

² Karaganda State Technical University, Kazakhstan

Bulvar Mira 56, Karaganda, 100026

Dr. (technical), professor

E-mail: miss-sis@mail.ru

³ Karaganda State Technical University, Kazakhstan

Bulvar Mira 56, Karaganda, 100026

Dr. (technical), professor

E-mail: miss-sis@mail.ru

⁴ Karaganda State Technical University, Kazakhstan

Bulvar Mira 56, Karaganda, 100026

PhD (technical), professor

E-mail: miss-sis@mail.ru

⁵ Karaganda Economical University, Kazakhstan

Akademicheskaya, 9, Karaganda, 100026

PhD (technical), professor

E-mail: miss-sis@mail.ru

⁶ Karaganda State Technical University, Kazakhstan

Bulvar Mira 56, Karaganda, 100026

Assistant of teacher, master

⁷ "Karaganda scientific and research institute of industrial safety" JSC "The National scientific and technical center of industrial safety" of the MES of RK, Kazakhstan

12 Alalykina st., Karaganda, 100026

master

Abstract. The article is concerned with manufacturing hazards assessment, concerned with engineering processes.

Keywords: hazard; accident; assessment; work safety; workers safety.

Введение. Безопасность труда в промышленности достигается путем осуществления комплекса мероприятий на основе технического перевооружения отрасли, широкого внедрения средств комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, снижения трудоемкости работ, повышения уровня обученности работающих при ведении технологических процессов, что отвечает требованиям МОТ и национальной политике РК в области безопасности и охраны труда. Поскольку главным объектом охраны труда является безопасность работника, то необходимо рассмотреть исполнительную деятельность оператора по планируемым и фактическим показателям техногенного риска технологического процесса или операции.

Данный критерий определяет меру опасности и характеризует возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий. Следовательно, количественные и

качественные параметры безопасности труда целесообразно выразить математическим ожиданием ущерба при функционировании производственного объекта.

Теория и практика оценки антропогенных производственных факторов позволяют констатировать, что вероятностные методы обосновывают оптимизацию предлагаемых мер безопасности и применимы в инженерных расчетах [1–4]. К основным критериям оценки относят коэффициент частоты и коэффициент тяжести, коэффициент потерь [4].

Существующие наработки по обеспечению безопасности работ в техносфере позволяют выделить три области, которые определяют условия труда на производстве: степень совершенства технологических решений принятых инженерных разработок, исполнительная деятельность работника, техническое состояние машин и агрегатов. С позиции теории множеств, совместная область, характеризующая фактическую производственную безопасность объекта, определяется коэффициентом производственной безопасности – надежности системы, рассчитываемый по следующей зависимости [3].

$$K_b = K_{p,p} * K_{i,d} * K_{b,m}. \quad (1)$$

где K_b – коэффициент производственной безопасности;

$K_{p,p}$ – коэффициент соответствия проектных решений принятых инженерных разработок;

$K_{i,d}$ – коэффициент исполнительской деятельности работников;

$K_{b,m}$ – коэффициент технической безопасности машин и установок технологического цикла.

Противоположная величина надежности работы системы является риском, который характеризует меру опасности:

$$R = 1 - RT \quad (2)$$

Поскольку риск это образ действия в условиях неопределенности [5], то меру опасности следует производить с помощью следующих показателей [6]:

- прогнозируемого ущерба;
- степень вывода из проектного состояния промышленного объекта;
- ожидаемый объем потерь хозяйствующих объектов выпускаемого товара.

При рассмотрении данных критериев, как количественной оценки опасности, в качестве признака идентификации необходимо рассматривать временной интервал простоя объекта или возможные материальные потери.

Риск следует понимать как величину вероятности опасного события или как удельную частоту опасного события по отношению к единичному объекту исследуемой техногенной сферы или к объектам опасности (к человеку или к фиксированной группе людей). Для отдельного человека важным является оценка риска за период трудового стажа (масштаб времени) в данном производстве. Меру безопасности можно оценить устойчивостью объектов и субъектов к опасным событиям – надежностью оценки исполнения обязанностей, оговоренные трудовым договором.

Возникновение чрезвычайных ситуаций обусловлено наличием остаточного риска. В соответствии с концепцией остаточного риска абсолютную безопасность обеспечить невозможно. Поэтому принимается такая безопасность, которая может обеспечить безопасность производства на данном этапе развития функционирования предприятия.

Когда последствия известны, то под риском (R) обычно понимают вероятность (P) наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

При этом величина приемлемого риска характеризует:

- а) надежность оборудования, процесса и обслуживающего персонала;
- б) возможность возникновения нештатных аварийных ситуаций;
- в) наличие и совершенство мониторинга;
- г) предупреждение и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций.

Анализ накопленной информации по статистике аварий свидетельствует, что динамика их числа и повторяемость подчиняются закону косинусоиды и представлена в виде трех компонент [1, 2].

$$f(t) = \sum_{i=1}^n j_i f_i(t) + \sum_{j=1}^n j_j f_j(t) + \sum_{\theta}^n j_{\theta} f_{\theta}(t), \quad (4)$$

где i, j, θ - индексы относятся к рассматриваемым критериям допустимого (приемлемого) риска на стадии приработки, проектной эксплуатации, износа.

Основной характеристикой вариации признака безаварийного функционирования системы является вариация и характеризуется отношением среднеквадратичного отклонения к математическому ожиданию, т.е.

$$\text{var}(t) = \frac{\sqrt{D}}{\bar{x}} \quad (5)$$

где D – дисперсия признака,

\bar{x} – математическое ожидание (среднее значение наблюдаемого признака).

Применительно условий работы объекта или субъекта представленных на рисунке 1 имеет три временных компоненты:

I – период приработки;

II – период нормальной эксплуатации;

III – период «износа».

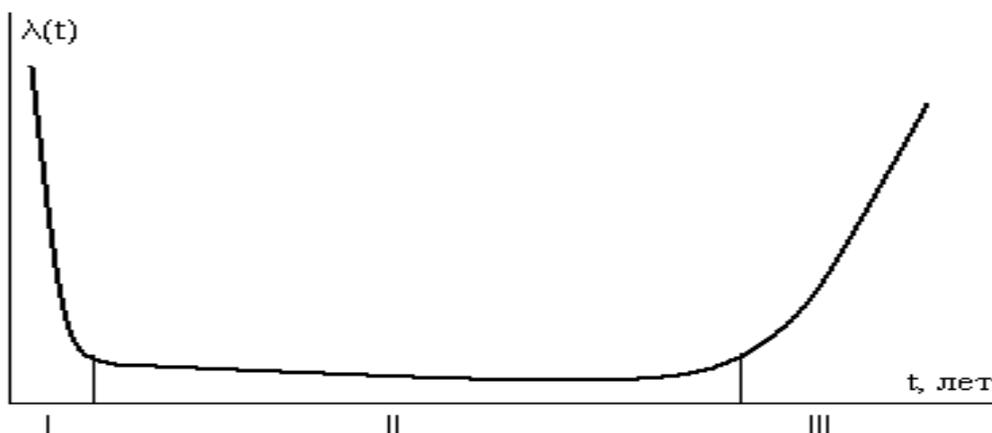


Рис. Зависимость плотности вероятности случайной величины наработки на отказ в различные периоды эксплуатации

Системный подход по концепции формирования происшествия в сфере безопасности с учетом количества объектов или субъектов по спектрам их категорий представляется следующим образом [3]:

а) работы системы

$$P(t)1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

где $e^{-\lambda t}$ – риск (надежность) работы;

λ – интенсивность;

t – время регистрации отдельного события

б) стационарности процесса (принцип неопределенности Гренандера)

$$\lambda t = const \quad (7)$$

в) разделения процесса на уровни (спектры) функционирования

$$k = 1 - 3.32 \lg n \quad (8)$$

г) оценки вероятности проявления определенного признака

$$\frac{P_A(x)}{M(x)} = \frac{M(x)}{D(x)} \quad (9)$$

где $P_A(t)$ – вероятность анализируемого события;

$M(x)$ – математическое ожидание;

Выделение аномального значения определяется:

$$\tau = |x_i| - M(x) / \sqrt{Dx} \quad (9')$$

$$\tau \leq t_{h-p}$$

где x_i – предельный элемент выборки;

t_{1-p} – табличное значение, вычисленное при доверительной вероятности (p – процентная точка нормированного выборочного отклонения).

Табличное значение доверительной вероятности принимается из условий числа степеней свободы анализируемого массива исходных данных и то, что значения прогнозируемых квантилей находится в пределах 0,001. Применительно условий, когда аварийная ситуация разбита на 8 категорий, что отвечает правилу Штюргеса, критериальное число составляет 6,859, что отвечает условиям современной концепции безопасности [4, 8, 9].

Анализ расчетных зависимостей и конкретные расчеты параметров опасных событий для различных исходных данных приводят к некоторым общим выводам о связи между величинами частот опасных ситуаций и опасных событий, что между этими явлениями имеется нелинейная связь, которая существенно зависит от вида опасностей или прогнозируемого ЧП.

Доминантой всего подхода к вероятностной составляющей является регулирование зависимости и вероятность ущерба, которая требует конкретных прогнозных значений. Как показали проведенные исследования, коррекцию можно произвести, используя формулу Байеса, которая позволяет произвести переход от аварийной ситуации к оценке общей вероятности события [1] и характеризует связь между ситуациями как экспоненциальную и гиперболическую, которая подтверждена конкретными данными для ряда отраслей хозяйствования. При этом коррекция перехода к иному масштабу анализа качественной характеристики аварийности следует производить как декремент функции затрат, а количественная характеристика анализируемого класса уточняется показателем математического ожидания на начальный период функционирования и старения. Коррекция обязательна при риске профессиональной патологии более 0,01, изменения стажа операторов по отношению к оптимальному и поправками на фактическое состояние тяжести и напряженности труда (ГОСТ, ССБТ 12.1.005),

Приведенные закономерности позволяют спрогнозировать масштабность техногенной чрезвычайной ситуации на основе периодичности их событий возникновения и возможного экономического ущерба.

Таблица 1

Сведения о масштабности ЧС техногенного характера

| Масштаб чрезвычайной ситуации | Периодичность возникновения | Продолжительные последствия | | Вероятность риска |
|---|---|--------------------------------|--|----------------------|
| | | Экономический ущерб, долл. США | Количество пострадавшего населения, чел. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Глобальный (планетарный) | Чрезвычайные ситуации техногенного характера, кроме полномасштабной мировой войны, неизвестны | | | $1,8 \cdot 10^{-10}$ |
| Транснациональный (межгосударственный, континентальный) | 30–40 лет | 1–10млрд. | 10 тыс–2 млн. | $2 \cdot 10^{-10}$ |
| Национальный | 10–15 лет | 100млн.–1млрд. | 1–100тыс. | $7 \cdot 10^{-10}$ |
| Межрегиональный | 5–18 лет | до 100 млн. | до 50 тыс. | $7 \cdot 10^{-10}$ |
| Региональный | 1–5 лет | 10–100 млн. | 1–10 тыс. | $3,6 \cdot 10^{-9}$ |
| Местный | 1–6 месяцев | 1–10 млн. | 10–1000 | $1 \cdot 10^{-8}$ |
| Объектный | 1–30 дней | 100 тыс.–1 млн. | 1–100 | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Локальный | Ежедневно | до 100 тыс. | до 10 | $6 \cdot 10^{-3}$ |

За основу взяты сведения о масштабности ЧС, представленные в Интернете [7].

Вероятность риска в таблице 1 рассчитана на основе принципа неопределенности Гренандера и предложенной нами закономерности. Корректировка вероятностей риска произведена по масштабности чрезвычайной ситуации техногенного характера, оценкой на основе кривой Фармера, что позволяет их принять в качестве математического ожидания рассматриваемого класса для любых отраслей хозяйствования и соответственно оценить уровень масштабности ЧС на предприятии на основе сведений по показателям травматизма, тяжести и потерь с учетом экономических затрат на мероприятия по охране труда.

Особенностью аварийности технологических процессов и процессов травматизма является то, что характеристики описываются как функции времени, при этом определенная группа вероятностных характеристик инвариантных во времени, не изменяется при сдвиге времени, то есть является характеристикой данного периода. Это позволяет рассматривать анализируемые явления как стационарные, с использованием их эргодических особенностей, заключающихся в том, что вероятностные характеристики могут быть получены с вероятностью, близкой к единице в результате операции усреднения по одной реализации при достаточно большой длительности отрезка времени.

Среднее значение случайного процесса по ансамблю реализаций, характеризуется его математическим ожиданием, которое для стационарных процессов не зависит от времени и представляет постоянное число. Дисперсия для стационарного эргодического случайного процесса является также постоянным числом. Необходимо отметить и тот факт, что для стационарных и эргодических случайных процессов корреляционная функция может быть определена по одной реализации процесса [2].

Рассматриваемые явления аварийно-технологического процесса представляют редкие события, где та функциональная зависимость, описывающая анализируемое событие представляет экспоненту и отвечает условиям распределения Пуассона.

Принцип неопределенности Гренандера постоянными значениями анализируемого частотного ряда можно представить:

$$\Delta f \cdot T = const \quad (10)$$

Принимая во внимание, что ожидаемая среднеквадратичная ошибка измерения спектральной плотности полосы спектра определяется величиной:

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2T\Delta f_{эн}}} \quad (11)$$

где T – средняя наработка на отказ

Δf - частотность

$\Delta f_{эн}$ - эквивалентна полосе избирательного фильтра.

Принцип неопределенности Гренандера характеризуется постоянной, равной дисперсии измерений или наблюдений, которая определяет условия принятия эксперимента к рассмотрению или оценки аварийного состояния:

$$A = \frac{1}{2\varepsilon^2} \quad (12)$$

то есть применительно полосы исследования спектра погрешность оценки аварийности является ее константой, определяемой условиями ведения технологического процесса.

Для начального участка (условия формирования опасности), оценка зависимости периода приработки можно оценить математическим ожиданием, представляющим собой среднеарифметическое значение рассматриваемого временного участка, соответствующее прогнозным продолжительностью наработки на отказ периода.

$$m^* = \frac{1}{2} [x(0) + x(T)] \quad (13)$$

где m - математическое ожидание данной величины. Временной параметр формирования чрезвычайной ситуации определяется отношением [2]:

$$\frac{F(x)}{F'(x)} \approx T \quad (14)$$

где F, F', F'' - функция и ее соответствующие производные, что соответствует и варианту:

$$\frac{F'(x)}{F''(x)} \approx T \quad (15)$$

При условии правильности оценки временного периода анализируемого явления:

$$\frac{F(x)}{F'(x)} \approx \frac{F'(x)}{F''(x)} \quad (16)$$

Применительно рассматриваемым вероятностным значениям анализируемых процессов - вероятность определяется как отношение квадрата плотности распределения значений массива к его дисперсии (квадрату среднеквадратичного отклонения).

Мерой точности для зависимости (16) является условие определения оценки второй производственной функции поскольку, согласно, неравенству Каши имеем [2]:

$$\|f\| = \sqrt{\int_a^b f^2(x) dx} \quad (17)$$

где $\|f\|$ - норма функции, которая оценивается согласно теории статистики, фиксированным значением среднеквадратичного отклонения, оцениваемое дисперсией события.

Как и любой стахистатический процесс, техногенная ситуация подлежит оценки ее воздействий на рабочее пространство, оператора и технологический процесс и требует определенной коррекции при ее рассмотрении, что позволяет воспользоваться методом декомпозиции (разбиения) анализируемого процесса на зоны: упреждения, ожидания и глобального усреднения, которые определяют ее как тяжесть труда, травматизм, аварийность. Данные факторы зафиксированы, как в отечественных, так и зарубежных исследованиях, которые увязываются со снижением производительности труда, аварийностью и травматизмом.

Так, федеральное законодательство США требует учета возможности травматизма по косвенным факторам: снижению производительности труда, а в странах СНГ аварий третий категории представляют нарушение технологического процесса, связанные с количеством и качеством, выпускаемой продукции.

I. Чрезвычайная ситуация, сопровождающаяся применением защитных устройств, индивидуальных защитных средств, но при этом не снижающих производительность труда можно отнести к зоне упреждения стахистатического процесса и их решение сводится к управлению техпроцессом.

II. Зона аварийности (зона чрезвычайного происшествия) соответствует ожиданию стахистатической ситуации, что отвечает условиям травматизма и аварийности, не сопровождающейся катастрофическими последствиями.

III. Зона катастроф соответствует условиям максимальной нарушенности. условий труда, связана с максимальной нарушенностью технологического процесса и сопровождается людскими, материальными и финансовыми потерями. Данная зона соответствует условиям зоны глобального усреднения.

Аварийность целесообразно описывать распределением Юла-Фарри, имеющего следующий вид:

$$P_n(T) = \begin{cases} e^{-\lambda T (1 - e^{-\lambda T})^{n-1}} & \text{при } n = 1, 2, 3 \\ 0 & \text{при } n = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Поскольку степень нарушенности технологического процесса выражается по абсолютной величине, долю ее отклонения от прогнозного значения, то вероятность этого события, согласно правилу Чебышева но оценивается соотношением:

$$P | (x - m) < \varepsilon | \geq 1 - \frac{D}{\varepsilon^2} \quad (19)$$

Следовательно, ошибки интерполяции участка определяются соотношением:

$$\varepsilon^2 = (Var)^2 = \frac{\|f\|^2 - m^2}{(m^*)^2} \quad (20)$$

и выражает предельную вариацию признаков исследуемого явления (события) или оценочный уровень сертификации (надежности) события [1, 6].

Так например, в Кузбассе из 330 несчастных случаев 30 сопровождались серьезными повреждениями и один представлял тяжелый случай [10], это свидетельствует, что шахты Караганды с учетом срока их эксплуатации работают в режиме деградации. Если рассматривать динамику развития и ликвидации аварии, которые приведены в таблице 2 [10], то можно констатировать, что превышение норм ПБ в угольных шахтах могут колебаться в течении 4 часов.

Таблица 2

Динамика, развитие и ликвидация аварии

| Начальная стадия | | | | | Ликвидация аварий | | |
|-------------------------|--------------------------------|------------|---------------------------|---------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | | Активная стадия | | Пассив. стадия |
| Вероятность развития ЧП | Время оповещения руководителей | Ввод ПЛА | Риск отступления от плана | Прев. норм ПБ | Разработка мероприятий | Ликвидация аварий | Ведение тех. работ |
| 1/5...1/7 | 10–30 | 30 м – 3 ч | 0,2205 | 4 часа | 7 сут. | 10 сут. | 1 год |

Выводы. Наличие или комбинация трех факторов в течение этого периода могут привести к катастрофическим последствиям. Все это позволяет констатировать, что предлагаемая методика пригодна для инженерных расчетов и прогноза.

Примечания:

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.

2. Мирский Г.Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М.-Л., Энергия, 1967. 432 с.

3. Применение методов теории вероятностей и теория надежности в расчетах по определению параметров травматизма и степени опасностей на объектах хозяйствования / В.С. Харьковский, В.М. Плотников, Н.Н. Акимбекова, Т.В. Демина и др. *Materialy II miedzynarodowej naukowe – praktycznej konferencji «Wykstawienie i nauka bez granic – 2005» Tom 13 Matematyka – Pzzemys'l. Sp Zoo. «Nauka i studia», 2005. S. 28–33.*

4. Идентификация риска с целью определения затратных условий на страхование работников предприятия / В. С. Харьковский, В. М. Плотников и др. «Риски в современном мире: идентификация и защита» / Материалы VIII Международной академии наук и экологии и безопасности жизнедеятельности. СПб., 2004. С. 32–35.

5. Харьковский В.С., Демин В.Ф., Демина Т.В. К вопросу определения статистических показателей спектра характеристик случайных процессов на основе травматизма // Материалы II-й международной научно-практической конференции «Мировой научный потенциал – 2005», том 17, технические науки, Днепропетровск, 2005. С. 50–52.

6. Методическое руководство по оценке степени риска на магистральных нефтепроводах. Руководящий документ. М.: Государственное предприятие. Научно-технический центр по безопасности в промышленности

7. www.catalog.ajaon.kz

8. Клебанов Ф.С. О современной концепции безопасности «Неделя горняка-2002». М.: Издательство МГГУ, 2002. С. 191–196.

9. Гражданкин А.И., Белов П.Г., экспертиза в оценке технологического риска опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2000. С. 6–10.
10. Косторез А.П. Пути предупреждения и ликвидации аварий на угольных шахтах // Уголь. 1995. № 7. С. 60–62.
11. Гольдберг Н., Иванова Г. Внедрение стандартов управления производственными рисками ГОСТ Р 12.0.006 и OHSAS 18001.
12. Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2008. №3. С. 52–56.
13. Риски в современном мире: идентификация и защита / Материалы VIII Международных научных чтений Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. СПб., 2004. 405 с.
14. Госгортехнадзор России. Версия 27. декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Выпуск 1, 2000. 95 с.

УДК 622.273

Методика оценки опасностей и аварийности технологических процессов

- ¹ Виктор Сергеевич Харьковский
² Валерий Михайлович Плотников
³ Николай Александрович Дрижд
⁴ Ниль Халяфович Шарипов
⁵ Кайрат Сатуович Какенов
⁶ Евгения Владимировна Комлева
⁷ Анна Владимировна Харламова

¹⁻⁶ Карагандинский государственный технический университет, Казахстан
100026, Бульвар Мира 56, Караганда

¹ Кандидат технических наук, профессор
E-mail: miss-sis@mail.ru

² Доктор технических наук, профессор
E-mail: miss-sis@mail.ru

³ Доктор технических наук, профессор
E-mail: miss-sis@mail.ru

⁴ Кандидат технических наук, профессор
E-mail: miss-sis@mail.ru

⁵ Кандидат технических наук, профессор
E-mail: miss-sis@mail.ru

⁶ Ассистент преподавателя, магистр технических наук

⁷ «Карагандинский НИИ промышленной безопасности» филиал «Национальный научно-технический центр промышленной безопасности» МЧС РК, Казахстан
100026, Алалыкина 12, Караганда
Магистр технических наук

Аннотация. В статье рассматриваются условия оценки возникающих на производстве опасностей, связанные с ведением технологических процессов.

Ключевые слова: опасность; несчастный случай; оценка; безопасность труда; безопасность рабочих.