

На правах рукописи



Джиляджи Мустафа Сервинович

**МЕТОД ФАКТОРНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ВОЗМОЖНОСТНОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТЕЙ
ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

05.26.01 – Охрана труда (в машиностроении)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Ростов-на-Дону – 2021

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования (ФГБОУ ВО) «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), на кафедре «Безопасность жизнедеятельность и защита окружающей среды», г. Ростов-на-Дону.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Есипов Юрий Вениаминович, профессор
кафедры «Безопасность жизнедеятельность
и защита окружающей среды» ДГТУ

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент,
Черный Константин Анатольевич, заведующий
кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

кандидат технических наук,
Солод Сергей Алексеевич,
доцент кафедры транспортных процессов
и техносферной безопасности (ФГБОУ ВО)
«Майкопский государственный технологический
университет». Филиал в п.г.т. Яблоновский,
Республика Адыгея

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«**Ростовский государственный университет путей
сообщения**» ФГБОУ ВО РГУПС Ростов-на-Дону

Защита состоится «23» сентября 2021 г. в 10⁰⁰ час. на заседании диссертационного
совета Д212.058.06 ФГБОУ ВО ДГТУ, по адресу
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, ауд. 1-252.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДГТУ или на сайте donstu.ru.
Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.Т. Рыбак

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы.

В настоящее время на основе трудов ряда ученых (Г.З. Файнбург, В.В. Новиков, Н.Н. Новиков, А.Г. Федорец, А.А. Короткий, А.П. Соловьев) с целью эффективного развития системы управления охраной труда (СУОТ) большое внимание уделено вопросам систематизации, моделированию и оценки комплекса опасностей, которые имеются или могут возникать в производственной сфере машиностроительных предприятий. Для этого рассматривается обобщенная техническая система вида «факторы – объект – защита – работник» (ФОЗР), описываются внешние и внутренние факторы и связи между компонентами системы и разрабатывают универсальные множества параметров факторов и связей. В этой связи весьма актуален учет «Реестра идентифицированных опасностей» (согласно ГОСТ 12.0.230.4–2018 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различных этапах выполнения работ»), а также требований межгосударственного стандарта ГОСТ 12.0.230.5–2018 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ». Как показано в [Г.З. Файнбург] в результате оценки риска организация должна получать:

- а) максимально объективную информацию о состоянии условий труда, имеющихся опасностях и рисках их воздействия на работающих;
- б) упорядоченные перечни рисков, ранжированные по степени риска, позволяющие выявить наиболее уязвимые моменты обеспечения безопасности труда, выработать меры по управлению рисками и надёжному обеспечению безопасности труда работающих;
- в) максимально подробную информацию для принятия обоснованных решений по управлению рисками, которые позволят разработать и внедрить предупредительные и регулирующие меры по защите работающих от рисков в порядке приоритетности, установленном п. 4.10.1.1 ГОСТ 12.0.230.

Ранее было разработано и рекомендовано для применения Положение о СУОТ- 2016, где для всех предприятий и организаций производственной сферы, включая машиностроение, описано 28 видов опасностей – видов факторов и

154 видов параметров – как производных параметров в системе физических единиц измерения.

Очевидно, что такое впервые выполненное и официально рекомендованное множество опасностей, которые в данной диссертации моделируется соответствующими множествами «факторов» и их «параметров», можно считать достаточно полным для достоверного оценивания показателей безопасности и риска путём построения и применения факторного параметрического базиса (ФПБ).

Следует отметить, что для полного описания опасностей в конкретно взятой технической системы «факторы – объект – защита – работник» ранее уже предлагались идеи и способы по разработке и применению теоретического «опорного» (на основе основных и дополнительных физических величин системы СИ) [Есипов (1997)] и «производного» (производные величины системы СИ, например, энергия, концентрация, плотность теплового потока, плотность мощности электромагнитного излучения и т.п.) и производного факторного параметрического базиса [Самсонов, Черемисин, (2007), Мишенькина (2008)]. В рамках такого подхода были введены и апробированы следующие утверждения: 1) об эквивалентности этих базисов событиям – происшествиям в любой конкретно взятой системе и 2) о достижимости повышения полноты и достоверности расчетов показателей безопасности и риска технических систем.

Степень разработанности темы исследования. Выбор исследования

связан с разработкой, обоснованием и применением моделей происшествий и их формальных составляющих в виде неблагоприятных исходов (НИ). Несмотря на имеющиеся работы по построению логических и параметрических моделей происшествий и НИ, как основ анализа риска, нет логически завершенных методов количественной оценки и (или) ранжирования условий труда – как результатов для сравнительного анализа различных рабочих мест и (или) предприятий. Очевидно, что охрана труда и системы управления промышленной безопасностью на предприятиях машиностроения остаются одними из сложных задач, решению которых посвящены труды многих ученых: К.В. Фролов, Н.И. Махутов, И.А. Рябинин, В.П. Гаенко, Г.З. Файнбург, В.А.Болотин,

Б.Ч. Месхи, В.В. Новиков, А.А. Короткий, С.В. Белов, А.Г. Федорец, Н.П. Барсуков, А.С. Батугин, Ф.Я. Якубов, Ю.И. Булыгин, Э.М.Люманов.

Объект исследования: связи и закономерности по выявлению и полному описанию действия опасных и вредных факторов в системе «факторы – объект – защита – работник» для системы управления охраной труда на примере машиностроительных предприятий.

Предмет исследования: метод факторного параметрического моделирования и возможностной оценки действия множества опасностей на работников машиностроительных предприятий.

Целью диссертационного исследования является повышения полноты и достоверности сравнительного анализа условий труда и обоснования защиты на основе унифицированного метода факторного параметрического моделирования и возможностной оценки опасностей, адаптированного к системе управления охраной труда СУОТ 2016.

Для достижения поставленной цели исследования решаются следующие основные задачи:

1) Анализ условий труда на рабочих местах предприятий ООО «КМК Групп» и ООО «СПО Крымпласт».

2) Количественное оценивание опасностей в конкретных условиях трудового процесса, а также возможных происшествий в виде несчастных случаев, профессиональных заболеваний и экстремальных ситуаций на основе параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость».

3) Разработка алгоритмов определения показателей безопасности технической системы вида «факторы – объект – защита – работник».

4) Логико-параметрическая оценка условий труда и обоснование защиты на предприятиях Республики Крым.

Теоретическая значимость работы заключается в:

- разработке унифицированного метода факторного параметрического моделирования и возможностной оценки на основе построения производного ФПБ-СУОТ-2016 и расчета множества возможных мер возникновения неблагоприятных исходов;

- разработке параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость» любых происшествий и (или) их неблагоприятных исходов, а также способа систематизации и универсализации применения параметрических моделей происшествий для широкого круга объектов, субъектов и условий труда.

Практическая значимость работы заключается в:

- обосновании эффективности средств защиты с позиции минимума вероятности возникновения неблагоприятного исхода;
- разработке и обосновании критериев превышения для описания наступления происшествий от действия химического и механического факторов на работников машиностроительных предприятий;
- создании алгоритма для расчета вероятностной и (или) возможностной мер наступления неблагоприятных исходов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработаны безразмерные параметрические модели происшествия с использованием гигиенических показателей вида ПДУ;
- решена прямая и обратная задачи обеспечения защиты работника на основе вероятности происшествия как целевой функции.

Научные положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной, полученные лично соискателем:

- в модели «воздействие – ослабление – восприимчивость» с позиции достоверности оценки наиболее слабым звеном является определение параметров восприимчивости работника к действию как отдельных, так и к комплексу факторов;
- при трёх уровневом установлении восприимчивости работника к возникновению неблагоприятных исходов показано, что для первого уровня параметров восприимчивости (значения определяющего параметра возникновения травмы или концентрация вредного фактора, провоцирующего ухудшение самочувствия или порог вида «ощутимое значение тока»), – относительная погрешность установления находится в пределах 10 %, для второго уровня она достигает 20%, тогда как для уровня 3, то есть при экспериментальном оценивании 50% критического порога воздействия (L_{50}) относительная погрешность достигает 50%;

- на основании внедрения факторного параметрического базиса СУОТ 2016 достижимо проведение объективной сравнительной оценки условий труда на любых рабочих местах предприятий машиностроения.

Методы и методология исследования. В работе при теоретических исследованиях использовались методы и положения теории риска, теории вероятностей, теории множеств и нечетких множеств, нечеткой логики, технической диагностики и компьютерного моделирования, методы планирования экспериментальных исследований и методы статистической обработки результатов, при экспериментальных исследованиях проводились лабораторные и опытно-промышленные испытания.

Эмпирическую основу работы составили официальные данные ежегодных отчетов Ростехнадзора, акты расследования аварий, отчеты по производственному контролю, предписания, выдаваемые при осуществлении государственного надзора, существующие информационные системы, используемые в близких областях знаний.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Исследование представляет собой новое решение актуальной научно-технической задачи – создание метода факторного параметрического моделирования и возможностной (нечеткой) оценки опасностей для системы управления охраной труда машиностроительных предприятий. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.26.01 Охрана труда (машиностроение), п.8 «Разработка теории, правил и норм научной организации безопасности труда, учета, контроля и профилактики вредностей и опасностей», а также п.9 «Вопросы изучения эффективности реализации систем управления и организации охраны труда на предприятиях машиностроения».

Обоснованность и степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением современных апробированных методов исследований; значительным массивом статистических данных; проведением расчетов взаимодополняющих количественных мер вероятности и возможности подобных исходов; сравнительным анализом и корректировкой полученных расчетных результатов; введением корректных допущений при разработке расчетных схем и алгоритмов; использованием математических

методов планирования экспериментальных исследований и статистических методов обработки результатов.

Апробация полученных результатов. Диссертация подготовлена на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» ДГТУ. Основные положения исследования докладывались на:

- 1) конференции ИНЭР 2014, Ростов-на-Дону;
- 2) VII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, XVII Школа молодых ученых «БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР И ТЕРРИТОРИЙ» г. Екатеринбург, 5 сентября - 9 сентября 2016 г.;
- 3) International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" (PHENMA 2016), Surabaya, Indonesia, July 19-22, 2016
- 4) 4-ой Всероссийской научной конференции и школе для молодых ученых (с международным участием) «Системы обеспечения техносферной безопасности» 11-15 сентября 2017 г. Южный федеральный университет, город Таганрог;
- 5) Национальной научно-технической конференция «Актуальные проблемы науки и техники 2018 г.» ДГТУ-18.

Результаты исследования внедрены в управлении Ростехнадзора Республики Крым при осуществлении государственного риск-ориентированного надзора в машиностроительной отрасли, а также в Программе «Дистанционный контроль за системой безопасности по предупреждению аварийных ситуаций внедрен на предприятии ООО "Крым металлоконструкции групп"».

Публикации по теме исследования – по материалам диссертационной работы автором опубликовано 8 печатных работ, отражающих основные научные результаты исследования, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК групп научных специальностей 05.26.00 – безопасность деятельности человека и 05.02.00 – машиностроение и машиноведение по которым присуждается ученая степень. Подана заявка на программный продукт для ЭВМ.

Структура и объём работы – диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 82 наименований. Работа изложена на 115 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц, 47 формул и 24 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень разработанности исследования, сформулированы цели и основные задачи, показаны теоретическая и практическая значимости, научная новизна, приведены научные положения, выносимые на защиту, методы и методология исследования, обоснованность и степень достоверности выводов и рекомендаций, приводятся сведения об апробации полученных результатов, публикациях по теме исследования, структуре и объёме диссертации.

В первой главе произведена новая систематизации и формализации опасностей в системе «факторы – объект – защита – работник», разработанной в рамках Положения о СУОТ 2016, описано множество факторов, количество которых составляет 28, и множество из 154 производных параметров. На основе этой систематизации применительно к производственным и офисным работникам учреждений в Республике Крым было выявлено множество возможных неблагоприятных исходов размерностью 14. Применительно к работникам предприятий машиностроения был проведен анализ смертельного, тяжелого и группового производственного травматизма в Республике Крым за период 2017 - 2019 г. По информации республиканской межведомственной комиссии по охране труда в течение трех последних лет в Крыму произошел 291 несчастный случай на производстве, в результате которых пострадало 315 человек (104 чел. в 2017 г., 118 чел. в 2018 г., 93 чел. в 2019 г.) из них (99 н.с. в 2017 г., 100 н.с. в 2018 г., 92 н.с. в 2019 г.). В результате расследования, эти несчастные случаи комиссией были классифицированы как случаи, имеющие «смертельный», «тяжелый» или «групповой» характер и были получены их статистические вероятности. Были получены значения 1) статистической вероятности и 2) индивидуального риска. Полученные результаты позволяют повысить достоверность оценивания и применения показателей безопасности в виде 1) теоретической вероятностной и 2) расчетной возможностной мер происшествий и обосновать как процедуру унификации оценки безопасности, так и мероприятия по повышению эффективности системы управления охраной труда.

Во второй главе был разработан метод факторного параметрического моделирования и возможностной оценки опасностей и способы его практического применения. Метод основан на 1) логическом базисе опасностей, построенном в

рамках положения о СУОТ 2016, 2) факторном параметрическом базисе системы «факторы – объект – защита – работник» как совокупность множеств видов факторов и параметров и сигнатуры нечетких множеств. Логический базис опасностей включает множества **YB** индикаторов $J = \{j\}$ факторов и множество условий (результатов) $I = \{i\}$ их действия на работника или ПОО

$$YB = \{a_{ji}\}, \quad (2.1)$$

где $a = 0 \vee 1$, причем если $a_{ji} = 1$, то действует условие i в факторе j , при этом сумма индикаторов

$$\sum_1^{29} \sum_1^{var} (a_{ji}) = 154. \quad (2.2)$$

Факторный параметрический базис (ФПБ) был построен как совокупность 1) множеств параметров воздействия и восприимчивости, 2) множеств параметрических критериев превышения воздействия над восприимчивостью и 3) группы операций на основе сигнатуры нечетких множеств. Введение этого базиса предназначено для 1) полного (по возможности) и стандартного описания всех предпосылок возникновения происшествий в конкретно заданной системе, 2) расчета количественных мер их реализации, 3) проведения сравнительного анализа безопасности условий труда работников различных предприятий и 4) упорядочивания всех выявленных опасностей и количественного ранжирования риска воздействий.

Моделирование и причинно-следственный анализ наступления происшествия и (или) неблагоприятных исходов в системе можно описать с помощью факторных параметрических моделей вида «нагрузка – несущая способность», «воздействие – восприимчивость». При этом чаще всего реализацию неблагоприятного исхода оценивают по условию превышения параметра или величины воздействия s над параметром восприимчивости r : ($s > r$). На основе этого критерия было введено булево множество

$$YX = \{x_{ji}\}, \quad (2.3)$$

как множество булевых переменных x_{ji} критериев превышения $b_{ji} = (s > r)_{ji}$ параметров воздействий s над параметрами восприимчивости r (множество индикаторов реализации неблагоприятных исходов), причем

$$b_{ji} \rightarrow x_{ji}, \quad (2.4)$$

где x_{ji} есть булева переменная критерия превышения

$$x_{ji} = 1, \text{ если } (s > r)_{ji}. \quad (2.5)$$

В зависимости от точности, полноты и достоверности информации о возможных реализациях величин s и r в рассматриваемой системе «защита – объект – среда», мера определенности реализации вершинного исхода или условия превышения может быть представлена как мера необходимости $n = Nec(t)$ или мера вероятности $p = Pro(t)$ или мера возможности $\pi = Pos(t)$ (Поспелов Д.А., Клир Дж.). При нормировке на интервале вещественных чисел $[0,1]$ для одного отдельно взятого критерия эти меры находятся в следующем отношении [24,28]:

$$Nec(s > r) \leq Pro(s > r) \leq Pos(s > r), \quad (2.6)$$

где под s, r соответственно понимаются:

в операторе Nec – детерминированные;

в операторе Pro – случайные;

в операторе Pos – нечеткие величины (параметры) параметрической модели реализации вершинного исхода.

Для любого происшествия было ведено и описано [77,78] фундаментальное соотношение между количественными мерами реализации: «мера необходимости» – «мера вероятности» и «мера возможности», рисунок 1.

Если система «факторы – объект – защита – работник» детерминирована, то мера принимает одно из двух значений: 0 или 1.

Если система «факторы – объект – защита – работник» случайна и известны плотности распределения вероятности $\varphi(s)$ и $\varphi(r)$ случайных величин s и r , то вероятность реализации условия $(s \geq r)$ находят на основании построения параметрической модели «воздействие s – восприимчивость r », рисунок 2.

Это позволяет для установления количественной меры возникновения происшествий в системе выбрать, в качестве «универсальной», следующую параметрическую модель [24,28]:

$$\text{«воздействие } V = \{v\} \text{ – ослабление } F = \{f\} \text{ – восприимчивость } R = \{r\} \gg \quad (2.7)$$

В однопараметрическом выражении модель (2.7) имеет вид:

$$\langle v - f - r \rangle, \quad (2.8)$$

где: v – параметр воздействующего фактора; f – функция ослабления воздействующего фактора, заданная на интервале вещественных чисел $[0, 1]$.

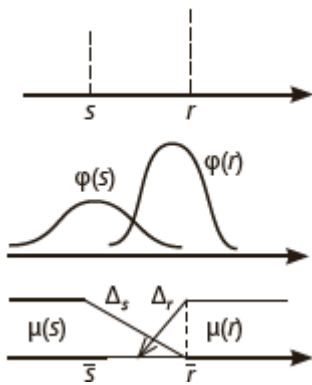


Рис. 1. Демонстрация вариантов представления модели «воздействие - восприимчивость», при условии, что параметры: детерминированы (верх); случайны (центр); нечеткие (низ)

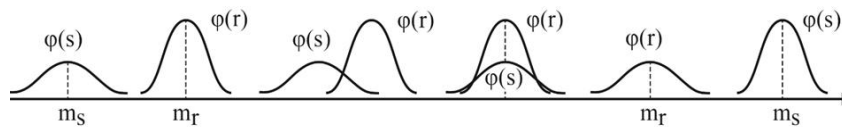


Рис. 2. Демонстрация применения вероятностной параметрической модели «воздействие-восприимчивость» в диапазоне возникновения вершинных исходов от травмы (заболевания) до критического или летального исхода

Причем условие $f = 0$ представляет полное ослабление (изоляцию действия) фактора, условие $f = 1$ описывает отсутствие ослабления (защиты от действия) фактора; условия ослабления «внешнего» воздействия v на трех уровнях защиты: $f_1 = 0,001$, практически полное ослабление воздействия;

$f_2 = 0,01$ — ослабление воздействия до уровня 1% (удовлетворительная защита); $f_3 = 0,1$ — ослабление до уровня 10% (плохая защита);

r – параметр восприимчивости объекта или элемента или субъекта (человека) к действию фактора, который характеризует возможность изменения состояния или возникновения предпосылки происшествия или самого происшествия. При этом параметры восприимчивости, как и параметры воздействия чаще всего выражают через основные или производные величины системы физических единиц СИ.

Причем оператор $\text{Pos}(\bullet)$ – есть оператор possibility.

Введенные множества (2.3, 2.6) в совокупности с множествами воздействий V , ослабления F , восприимчивости R и сигнатурой нечетких множеств (2.7) [25, 28] образуют факторный параметрический базис (ФПБ) системы.

Задача об определении возможностной меры параметрической предпосылки происхождения в диссертации решена как задача о сравнении двух нечетких чисел [62,64] с треугольными функциями принадлежности:

$$\begin{aligned}\mu_s(x), x \in \{s - \Delta_s, s + \Delta_s\}; \\ \mu_R(x), x \in \{r - \Delta_R, r + \Delta_R\},\end{aligned}\quad (2.9)$$

где: соответственно s и r — ядра;

интервалы $\{s - \Delta_s, s + \Delta_s\}$ и $\{r - \Delta_R, r + \Delta_R\}$ — области задания нечетких чисел $\mu_s(x)$, $\mu_R(x)$;

причем величины Δ_s и Δ_R выражают через абсолютные погрешности задания параметров воздействия и восприимчивости (рис. 3). При этом критерий превышения нечеткого воздействия над нечеткой восприимчивостью на области существования этих параметров представим в виде: $s > r \mid s < r$.

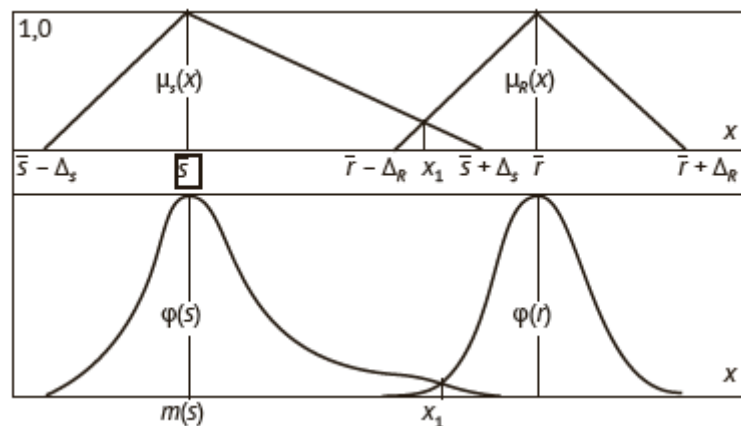


Рис.3. Сравнение двух нечетких чисел с треугольными функциями принадлежности и их вероятностный аналог

В первом приближении, при допущении о линейной аппроксимации нечетких параметров (в наименее информативном варианте их получения) справедлива зависимость [28]:

$$\pi_i^L = 1 - \bar{z}b, \quad (2.10)$$

где $\bar{z}b$ — приведенный параметрический запас безопасности:

$$\bar{z}b = (\bar{r} - \bar{s}) / (\Delta_r + \Delta_s), \quad (2.11)$$

в котором $\bar{r}$ и $\bar{s}$ – соответственно, «ядра» нечетких параметров восприимчивости r и воздействия s ; а Δ_r и Δ_s – «интервалы размытости» нечетких параметров восприимчивости r и воздействия s , см. рис. 1 и рис.2.

С целью универсализации параметрического моделирования любых неблагоприятных исходов на основе критерия превышения было введено безразмерное представление параметрической модели происшествия с использованием гигиенических показателей вида ПДК, ПДВ, ОБУВ, рис.4. При этом принято допущение о том, что параметры восприимчивости в рамках гигиенических показателей изменяются линейно.

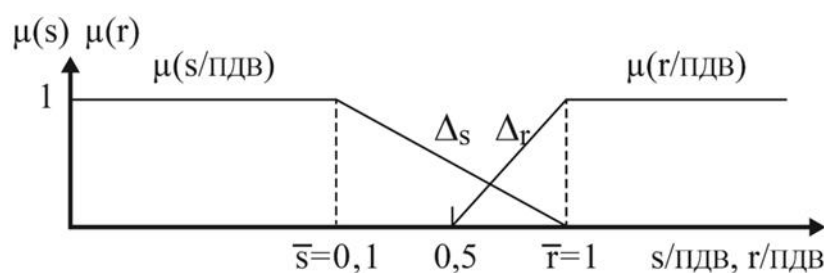


Рис. 4. Нечеткая безразмерная параметрическая модель неблагоприятных исходов на основе трапецидальной аппроксимации функций принадлежности воздействия $\mu(s)$ и восприимчивости $\mu(r)$

Способ расширения области применения параметрических моделей происшествий «воздействие $V = \{v\}$ – ослабление $F = \{f\}$ – восприимчивость $R = \{r\}$ » с учетом ослабления внешнего воздействия защитой чаще всего основан на трёхуровневом представлении на примере исходов типа «травма – увечье – летальный исход» или «потеря сознания – прекращение дыхания – остановка сердца – летальный исход: клиническая смерть – анатомическая смерть», рис.5 и рис.6.

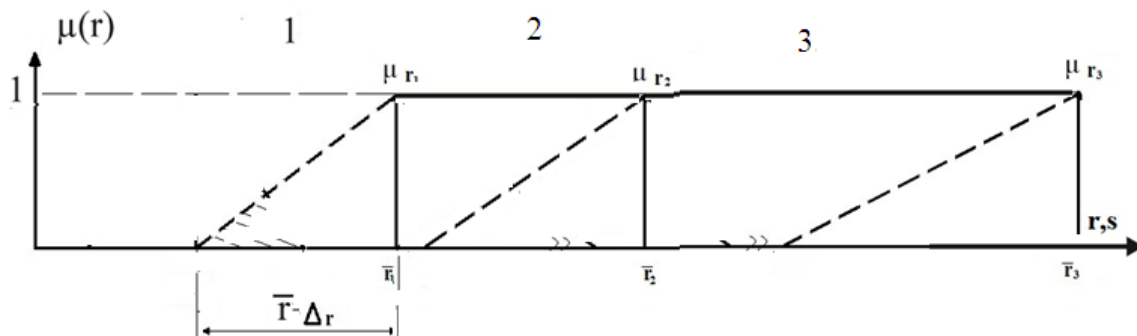


Рис.5. Трёхуровневое представление восприимчивости объекта и (или) субъекта к воздействию опасных или вредных факторов и соответствующие этим уровням степени тяжести вершинных исходов (опасностей)

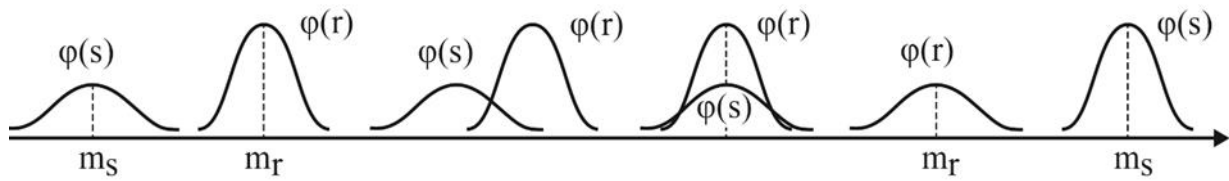


Рис. 6. Демонстрация применения вероятностной параметрической модели «воздействие-восприимчивость» в диапазоне возникновения вершинных исходов от травмы (заболевания) до критического или летального исхода

В развитие производного ФПБ для СУОТ, глава 1, ф-лы (1.3)-(1.5) в главе 2 были введено и описано множество возможностей мер

$$\mathbf{Y\Pi} = \{\pi_{ji}\}, \quad (2.12)$$

где $\pi_{ji} = \text{Pos}(s > r)_{ji}$ есть элемент множества возможностей мер превышения параметров воздействий над параметрами восприимчивости (множества возможностей мер возникновения неблагоприятных исходов).

А также было введено и описано множество вероятностных мер

$$\mathbf{Y\Pi} = \{p_{ji}\}, \quad (2.13)$$

где $p_{ji} = \text{Pro}(s > r)_{ji}$ есть множество вероятностных мер превышения параметров воздействий над параметрами восприимчивости (множества неблагоприятных исходов).

Аналитически вероятность реализации параметрической предпосылки можно найти с помощью дополнительной функции ошибок $\text{erfc}(\mathbf{u})$:

$$\text{Pro}(x = 1) = \text{Pro}(s \geq r) = 1 - \Phi(\mathbf{u}) = 0.5 \text{erfc}(\mathbf{u}), \quad (2.14)$$

где $\Phi(\mathbf{u})$ – табулированный интеграл вероятности, который рассчитан с точностью 10^{-6} , что позволяет получать значения показателей безопасности с этой точностью; где аргумент $\mathbf{u}$ есть вероятностный «приведенный параметрический запас безопасности» (ППЗБ) как отношение разности математических ожиданий восприимчивости и воздействия к их суммарному среднеквадратическому отклонению

$$\mathbf{u} = (\mu_r - \mu_s) / (\sigma^2_r + \sigma^2_s)^{0.5}. \quad (2.15)$$

Следует отметить, что в формулах (2.11, 2.15) аргументы $\mathbf{u}$ и $\mathbf{x}$ подобно выражают приведенный параметрический запас безопасности соответственно для нечетких и случайных величин воздействия и восприимчивости. Отметим, что существующая аналогия параметров $\mathbf{u}$ и $\bar{\mathbf{z}}\mathbf{b}$, как функций от характеристик

«уклонения» (разность математических ожиданий и ядер восприимчивости и воздействия) и их суммарной «размытости», указывает на их эквивалентное соответствие и подтверждает достоверность результатов при их применении.

В третьей главе представлены результаты сравнительного анализа условий труда на рабочих местах двух предприятий машиностроения и разработан алгоритм количественной оценки систематизированных опасностей, выраженных с помощью параметрических предпосылок возможных происшествий. При этом алгоритм формализован и апробирован на примере машиностроительных предприятий Крыма ООО "Крым металлоконструкции групп" (ООО «КМК-Групп») и предприятие «Крымпласт». Показано, что как комплекс условий труда работников различных профессий этих предприятий, так и возникновение множества возможных опасностей, могут быть унифицировано и полно выражены на основе конкретных факторных параметрических базисов ФПБ-1 и ФПБ-2. Путем 1) построения их конкретных булевых базисов $YB-1 = \{a_{ji}\}_1$ и $YB-2 = \{a_{ji}\}_2$, и 2) выявления ненулевых булевых элементов этих множеств, а также 3) расчета соответствующим им элементов множеств возможностей мер $YP-1 = \{\pi_{ji}\}_1$ и $YP-2 = \{\pi_{ji}\}_2$ в итоге 4) производят поэлементное и взаимно однозначное сравнение значений множеств 1 и 2.

При этом выявленное множество факторов для каждой специальности анализируемых предприятий не превысило 3, а количество параметров - 5. Для расчета количественной меры превышения «нечеткое воздействие больше нечеткой восприимчивости» была использована линейная аппроксимация возможностной меры, ф-ла (2.10) и (2.11).

С учетом градации опасности с помощью цветов раскраски 1) зеленый; 2) желтый; 3) сиреневый; 4) красный и соответствующих этому следующих критериев различения неблагоприятных условий по интервалам значений возможностной меры

$$1) \pi \leq 0.2; \quad 2) 0.2 \leq \pi \leq 0.5; \quad 3) 0.5 \leq \pi \leq 0.9 \quad 4) \pi > 0.9 \quad (3.1)$$

были выявлены:

3 **высоко** опасных предпосылки (печатник Крымпласт" – 2 и сварщик КМГ);

4 **опасных** предпосылки (сварщик КМГ -1, маляр КМГ -1, печатник Крымпласт" – 2);

5 **умеренно** опасных предпосылок (сварщик КМГ -1, маляр КМГ -1, сварщик Крымпласт"-2; печатник Крымпласт" – 1);

2 **мало** опасные предпосылки (маляр КМГ -1, сварщик Крымпласт" -1).

Для сравнительного анализа качества условий труда были выбраны рабочие одинаковых профессий – сварщик и маляр. Из сравнения полученных расчетных мер реализации полного множества возможных вершинных исходов, как предпосылок происшествий, было установлено, что по условиям труда предприятие «Крымпласт» значительно опаснее вследствие наличия большего количества возможных нежелательных исходов и недостаточной степени защиты.

Таблица 3.1

Результаты сравнительного анализа безопасности условий труда работников машиностроительных предприятий КМГ и Крымпласт по значениям возможностных мер исходов $\{j, i\}$ согласно классификации Положения о СУОТ-2016

Предприятие	«Крым металлоконструкции групп» (КМГ)		ООО "СПО Крымпласт" (Крымпласт)	
Специалист	сварщик	маляр	сварщик	печатник (маляр)
Номера действующего фактора и его параметра, исход $\{j, i\}$	$j = 3, i = 5$	$j = 3, i = 2$	$j = 3, i = 5$	$j = 3, i = 7$
Значение нормированных параметров воздействия $s/\Pi ДВ_i$: ядро s и интервал Δ_s	0.1, 0.9	0.1, 1	0.2, 1	0.3, 0.9
Значение нормированных параметров восприимчивости/	1, 0.5	1, 0.5	1, 0.5	0.8, 0.3

Продолжение табл. 3.1

Значение нормированных параметров воздействия $s/\text{ПДВ}_i$: ядро s и интервал Δ_s	0,2, 0,3	0,2, 0,8	0,2, 0,8	0,3, 0,9
Значение нормированных параметров восприимчивости/ ПДВ_i : ядро r и Δ_r	1, 0,5	1, 0,2	1, 0,2	1, 0,2
Возможностная мера исхода, π_{ji}	$\pi = 0,44$	$\pi = 0,2$	$\pi = 0,2$	$\pi_{11,1} = 0,34$
ПДВ_i : ядро r и Δ_r				
Возможностная мера исхода, π_{ji}	$\pi = 0,64$	$\pi = 0,4$	$\pi = 0,45$	$\pi_{3,7} = 0,58$
Номер действующего фактора и параметра $\{j, i\}$	$j = 7, i = 4$	$j = 7, i = 4$	$j = 7, i = 4$	$j = 7, i = 4$
Значение нормированных параметров воздействия $s/\text{ПДВ}_i$: ядро s и интервал Δ_s	0,2, 0,8	0,2, 0,8	0,1, 0,8	0,4, 0,8
Значение нормированных параметров восприимчивости/ ПДВ_i : ядро r и Δ_r	1, 0,5	1, 0,5	1, 0,5	0,8, 0,3
Возможностная мера исхода, π_{ji}	$\pi = 0,92$	$\pi = 0,65$	$\pi = 0,38$	$\pi_{7,4} = 0,63$
Номер действующего	$j = 11, i = 2$	$j = 11, i = 2$	$j = 11, i = 2$	$j = 11, i = 1,2$

Возможностная мера исхода, π_{ji}				$\pi_{1,10} = 1.0$
Номер действующего фактора и параметра $\{j, i\}$				$j = 22, i = 1$
$s/\text{ПДВ}_i$: ядро s и интервал Δ_s				0.9, 2
$r/\text{ПДВ}_i$: ядро r и Δ_r				1, 4
Возможностная мера, π_{ji}				$\pi_{22,1} = 0.94$

В четвертой главе поставлена и решена задача обеспечения защиты на основе построения и применения вероятности происшествия как целевой функции

$$P = \text{Pro}(f, \varphi(s), \varphi(r)). \quad (4.1)$$

Для этого был разработан и апробирован алгоритм численного анализа степени защиты (ЧАСЗ). Этот алгоритм основан на расчете вероятности реализации неблагоприятного исхода происшествия при вариации коэффициента ослабления воздействия в параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость» и включает этапы.

1) Определение вероятности реализации НИ: $x = 1$

$$p = \text{Pro}(x = 1) = \text{Pro}(s > r) \quad (4.2)$$

как функции от приведенного параметрического запаса безопасности (ППЗБ), ф-ла (2.15), с учетом ослабления как зависимость

$$u(f) = (m_r - m_s(f)) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5}. \quad (4.3)$$

На основании ф-лы (2.14) с помощью табулированного интеграла вероятностей $\Phi(x)$ для условия $m_s < m_r$ выражение вероятности исхода

$$p_1(u) = \text{Pro}(s > r) = 0.5 - \Phi((m_r - m_s) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5}) = 0.5 - \Phi(u(f)). \quad (4.4)$$

2) С учетом изменения параметра $u(f)$ как функции от коэффициента ослабления f , изменяющегося на интервале $[0,1]$ численно вводятся следующие зависимости

$$m_s(f) = f \cdot m_v, \quad (4.5)$$

$$\sigma_s^2(f) = (f \cdot \sigma)^2_r. \quad (4.6)$$

Путем вариации коэффициента ослабления f , изменяющегося на интервале $[0,1]$ с переменным шагом изменения f от 0,2; 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001 были получены табличные (Табл. 4.1) и графические (рис. 4.1) вероятности реализации НИ как функции от коэффициента ослабления f .

Таблица 4.1

Сводная таблица задачи: зависимость вероятности реализации p

неблагоприятного исхода от коэффициента f ослабления воздействия, $p = Y(f)$

f	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1
p	0,00135	0,00135	0,0014	0,003	0,01	0,02	0,09	0,23	0,39	0,5

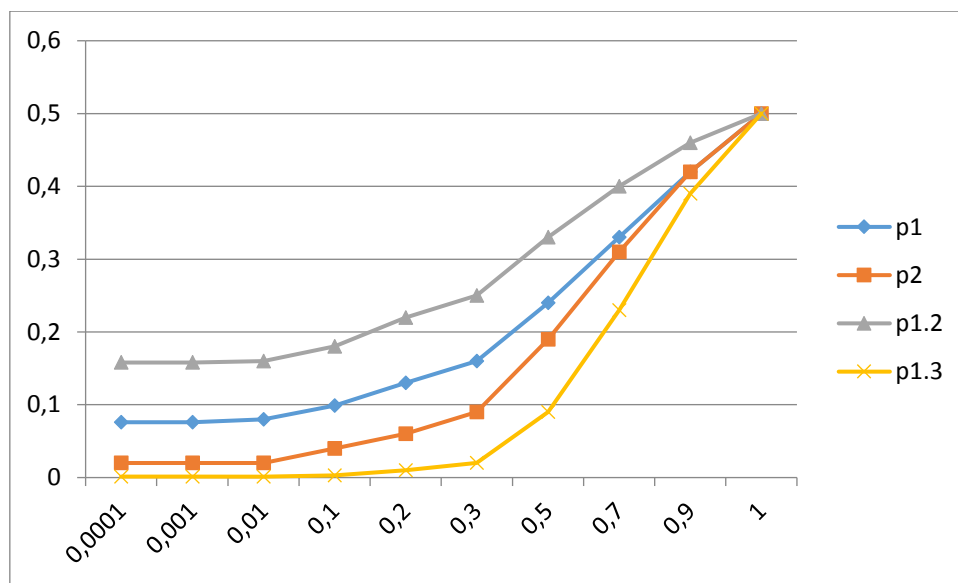


Рис. 4.1. Сводка результатов численного анализа вероятности исхода при варьировании коэффициента ослабления воздействия защитой

Из полученных результатов следует, что при значительном разбросе коэффициента ослабления и при запасе меньше 2 вероятность исхода достигает значение 0,158 на всем интервале значений коэффициента ослабления. Тогда как при сужении разброса параметров воздействия и восприимчивости влияние разброса коэффициента ослабления, начиная от 0,1, незначительно и вероятность возникновения исхода не превышает значения 0,003. Тогда как при относительном запасе $(m_r/m_s(f)) \geq 3$ вероятность исхода не превысит значение 0,005.

Научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту

Результат 1. На основании известной классификации опасностей, рекомендованной в СУОТ – 2016, 1)сформирован перечень из 28 опасностей и 154 условий (результатов) их возможного действия во всех вариантах трудовой деятельности работников машиностроительных предприятий и на его основе 2)построен универсальный множественно – булевый базис, который индицирует множество критериев превышения параметров воздействий над параметрами восприимчивости. Разработка этих критериев позволяет формализовано описать события возникновения 154 неблагоприятных исходов, как полного набора вариантов возможных происшествий.

Результат 2. Разработан унифицированный метод факторного параметрического моделирования и возможностной (нечеткой) оценки в составе трехуровневой параметрической модели предпосылок происшествия, позволяющей учитывать диапазон воздействующих факторов от ПДУ до 50% критического порога воздействия (L_{50}) при расчете вероятности исходов, на основе применения которого достижима объективная сравнительная оценка условий труда на рабочих местах предприятий машиностроения.

Результат 3. На основании построенных логических моделей и путем использования множества параметрических предпосылок происшествия достижимо как получение вероятностных и (или) возможностных мер реализации этого происшествия в конкретно заданной технической системе вида «факторы – объект – защита – работник», так и проведение сравнительного анализа мероприятий и средств защиты и уровня охраны труда на предприятиях машиностроительной отрасли.

Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной работы (диссертации)

1. Джиляджи М.С. Разработка принципов обоснования безопасности труда на основе показателя эффекта суммации / М.С.Джиляджи, Ю.В.Есипов, Ю.И. Булыгин // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы VI Всероссийской конференции и XVI школы молодых ученых. – Екатеринбург: НИЦ БСМ УрО РАН, – 2014. С. 132-135.

2. Джиляджи М.С. Разработка методики оценки экологического риска на примере наноразмерного диоксида титана / М.С.Джиляджи, Ю.В.Есипов, Л.Е.Пустовая // ВестникКубГУ . – 2015. №3. С. 21.

3. Джиляджи М.С. Метод обоснования безопасности труда на основе показателя эффекта суммации/ Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2014): тр. XI Межд. науч.-техн. форума [Электронный ресурс] / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2014. - 1 электрон.опт. диск (CD-ROM). - Загл. с этикетки диска. - № гос. регистрации 0321403677 от 11.02.2015.

4. Джиляджи М.С., Есипов Ю.В., Маматченко Н.В. Разработка логико-возможностного алгоритма оценки риска критических инфраструктур // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы VII Всероссийская конференция и XVII школы для молодых ученых. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С.28-32

5. Джиляджи М.С. Разработка алгоритма расчета вероятностного показателя безопасности технической системы «защита — объект — среда» / М.С. Джиляджи, Ю.В. Есипов, Н.С. Маматченко // Безопасность техногенных и природных систем. 2017.1.с. 76-89, элект. ресурс <http://bps-journal.ru/>

6. Джиляджи М.С. Логическое и параметрическое моделирование предпосылок и установление меры определенности реализации происшествия в системе / М.С.Джиляджи, Ю.В.Есипов, А.И. Черемисин // Безопасность в техносфере. – 2017. №2. С.3-12.

7. Dzhilyadzhi M.S., Saulina E.V., Esipov Yu.V. Development of the hybrid optico-ferroelectric sensor of deformation of the increased interference free feature. International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" (PHENMA 2016), Surabaya, Indonesia, July 19-22, 2016, p.231.

8. Джиляджи М.С. Формализация и сравнительный анализ условий труда работников машиностроительных предприятий Крыма на основе СУОТ-2016 / М.С.Джиляджи, Ю.В. Есипов // Безопасность труда в промышленности. 2020 №6. С. 60-66.

В печать 26.05.2021.
Формат 60×84/16. Объем 1,4 усл. п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 110.

Отпечатано в типографии издательского центра ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.