



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Лектор: Орлова Ксения Николаевна, к.т.н., доцент.

Лекции: 32 часа

Практики: 32 часа

Результат изучения: зачет

Москва



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

*Электробезопасность.*



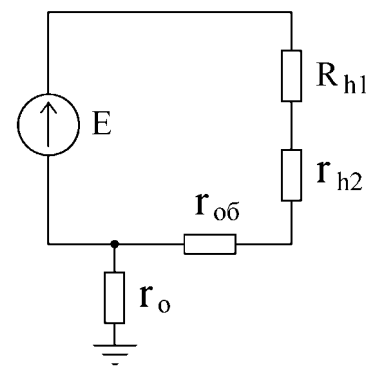
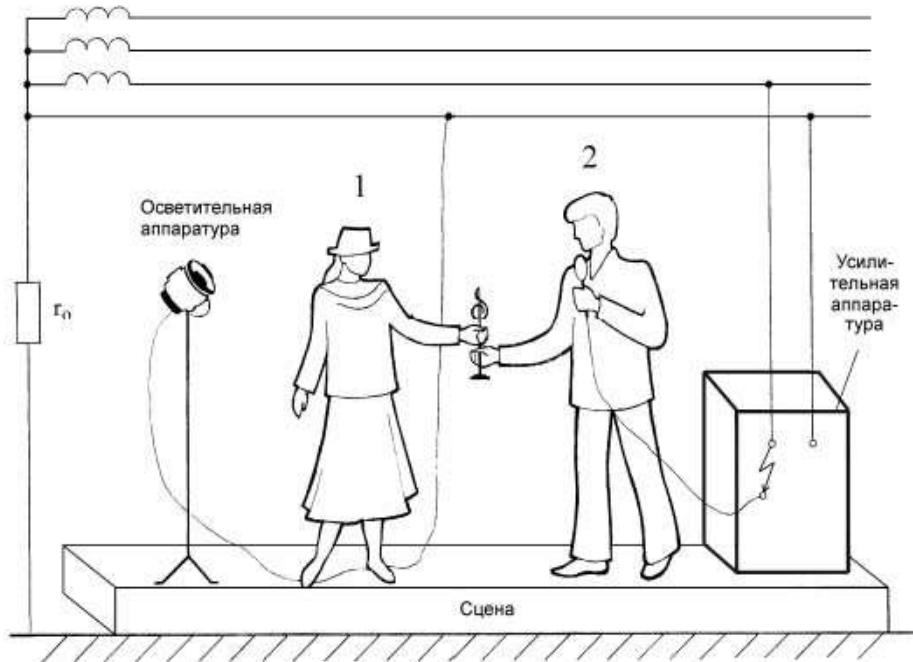
## Задача № 1

При вручении победительнице танцевального конкурса специального приза от фирмы, ее представитель держал в руке микрофон, корпус которого в результате неисправности оказался электрически соединенным с фазой питающей сети. Победительница конкурса наступила ногой на нулевой провод, идущий от осветительных установок. В момент вручения приза оба получили электрический удар. Оцените опасность ситуации и сделайте предположение об ее исходе. Проанализируйте ситуацию, в которой представитель фирмы, прежде чем вручить приз, передал бы победительнице микрофон для ответного слова. Попробуйте ответить на те же вопросы, что были заданы относительно предыдущего случая.

Что, на Ваш взгляд, является основной этой и других подобных опасных ситуаций? Какие защитные средства, по Вашему мнению, могли бы предотвратить такие несчастные случаи?

### **Исходные данные**

Электрооборудование сцены запитано от трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью; фазное напряжение - 220В. Проводимостью сцены пренебречь.



$R_{h1}$  – сопротивление тела победительницы по пути тока рука-нога

$R_{h2}$  – сопротивление представителя фирмы по пути тока рука-рука

$r_{об}$  – сопротивление обуви победительницы конкурса

$r_0$  – Сопротивление заземления нейтрали



# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Вариант	$R_{h1}$ , Ом	$R_{h2}$ , Ом	$r_{об}$ , Ом
А	1300	1400	730
Б	1200	1300	5200
В	970	1100	170
Г	840	1200	65
Д	800	960	23



## Задача № 1

Сотрудник офиса коснулся корпуса холодильника, который в результате неисправности оказался электрически связанным с питающим фазным проводом. Определите значения токов проходящих через тело человека при разной влажности пола, опишите, какие ощущения будет испытывать сотрудник в двух указанных случаях. Определите значения напряжений прикосновения при разном состоянии пола. Как зависит сопротивление тела человека от величины напряжения прикосновения?

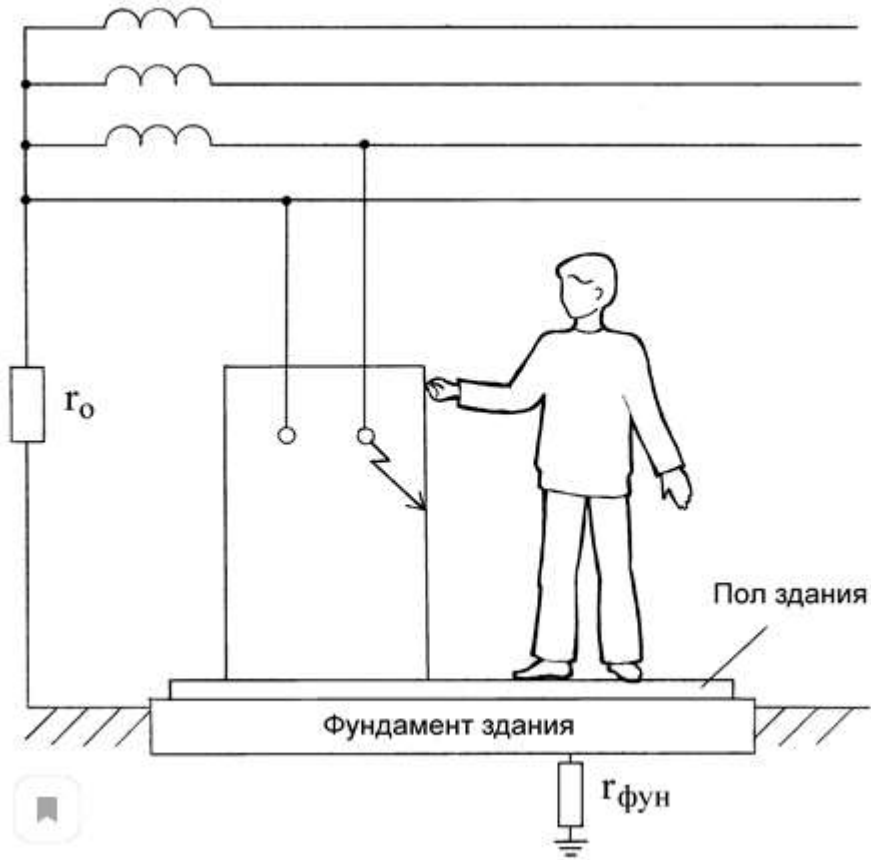
После ответа на поставленные вопросы сделайте выводы относительно влияния различных элементов цепи тока через тело человека на его величину, о том можно ли полагаться на изолирующие свойства обуви и пола, о необходимости средств защиты от поражения электрическим током в подобных ситуациях. Какие средства защиты Вы могли бы предложить?

## Исходные данные

Корпус холодильника не занулен и не касается никаких заземленных конструкций. Питающая сеть трехфазная четырехпроводная с заземленной нейтралью, фазное напряжение - 220 В. Сотрудник стоит на деревянном полу в промокших из-за дождя ботинках.



# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



$\Gamma_0$  – сопротивление заземления нейтрали;

$\Gamma_6$  – сопротивление ботинок;

$\Gamma_п$  – сопротивление пола между подошвами ботинок и "землей";

$\Gamma_{фун}$  – сопротивление растеканию тока с фундаментом здания;

$R_ч$  – сопротивление тела человека.

Вариант	$\Gamma_0$ , Ом	$\Gamma_6$ , Ом	$\Gamma_п$ , Ом	$\Gamma_{фун}$ , Ом	$R_ч$ , Ом
	пол мокрый	пол сухой			
А	3,7				
Б	5,9				
В	6,8				
Г	9,3				
Д	2,9				



## Задача № 2

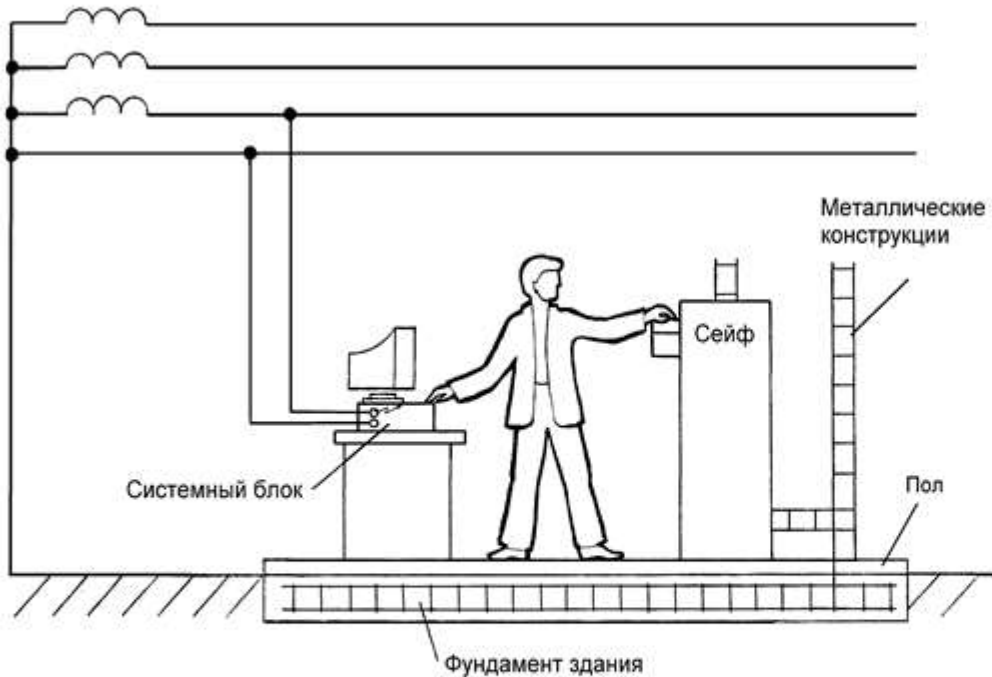
Сотрудник офиса стоит, касаясь рукой корпуса системного блока персональной ЭВМ. Доставая документы из стоящего рядом сейфа, он второй рукой коснулся его металлической полки. Шнур питания системного блока оснащен вилкой с двумя рабочими и третьим защитным контактом (по европейскому стандарту), но розетка, к которой он подключен, имеет только два рабочих контакта (российская конструкция), что является нарушением действующих правил. В результате неисправности произошло замыкание фазного проводника на корпус системного блока. Сейф имеет электрическую связь с металлическими конструкциями здания. Определите значения токов проходящих через тело сотрудника до его прикосновения к сейфу и после прикосновения. Определите значения напряжений прикосновения до и после касания сотрудника сейфа.

## Исходные данные

Питающая сеть - трехфазная четырехпроводная с заземленной нейтралью; фазное напряжение – 220 В. Сопротивлением заземления нейтрали пренебречь.



## Схема для анализа



$\Gamma_{об}$  – сопротивление обуви сотрудника

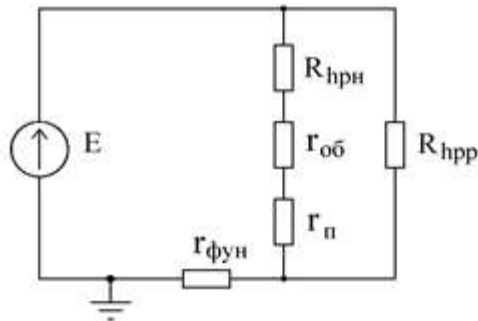
$\Gamma_{п}$  – сопротивление пола между подошвами обуви и заземленными конструкциями здания

$\Gamma_{фун}$  – сопротивление растеканию тока с фундамента здания



Вариант	$\Gamma_{об}$ , Ом	$\Gamma_{п}$ , Ом	$\Gamma_{фун}$ , Ом	$R_{hpp}$ , Ом	$R_{hpn}$ , Ом	
Сотрудник не касается сейфа	Сотрудник касается сейфа					
А	150 000	95 000		1 100	6 000	1 900
Б	86 000	73 000			9 300	1 800
В	41 000	670 000			49 000	1 500
Г	270 000	15 000			9 000	1 600
Д	16 000	240 000			17 000	1 400

Эквивалентная схема

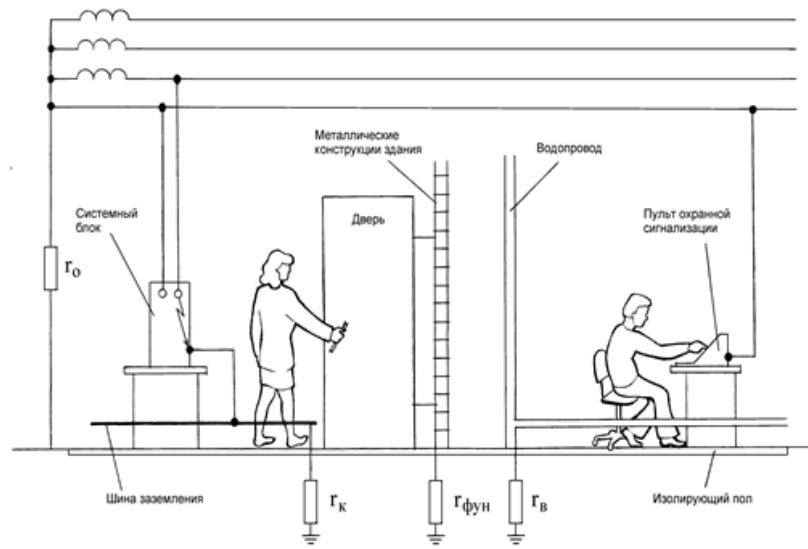


## Задача № 3

По распоряжению руководителя отдела автоматизации банка для защиты вычислительной техники от электромагнитных помех было выполнено заземление. Корпуса оборудования, используемого для обработки важной информации, были присоединены к заземлителю и, в нарушение действующих правил, отсоединены от нулевого защитного проводника. Оцените опасность для сотрудницы банка, коснувшейся ногой шины заземления, а рукой - металлической двери, имеющей электрическую связь с металлическими конструкциями здания, и для сотрудника охраны банка касающегося рукой зануленного пульта охранной сигнализации, а ногой - водопроводной трубы. Возникновение опасности обусловлено тем, что произошло замыкание фазы на корпус одного из заземленных системных блоков.

Сделайте выводы о правомерности решения руководителя отдела автоматизации, об эффективности работы служб охраны труда и главного энергетика банка, о влиянии различных элементов цепи замыкания на землю на условия безопасности.

### Схема для анализа



$\Gamma_k$  – сопротивление заземления корпусов вычислительного оборудования

$\Gamma_{\text{фун}}$  – сопротивление растеканию тока в земле фундамента здания



# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

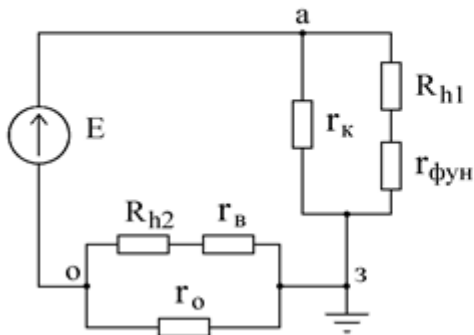
$\Gamma_B$  – сопротивление растеканию тока в земле системы водопровода

$R_{h1}$  – сопротивление тела сотрудницы банка

$R_{h2}$  – сопротивление тела сотрудника охраны

Вариант	$\Gamma_K$ , Ом	$\Gamma_{\text{фун}}$ , Ом	$\Gamma_B$ , Ом	$R_{h1}$ , Ом	$R_{h2}$ , Ом
А	3,8				
Б	7,6				
В	9,4				
Г	5,3				
Д	6,7				

*Эквивалентная схема*





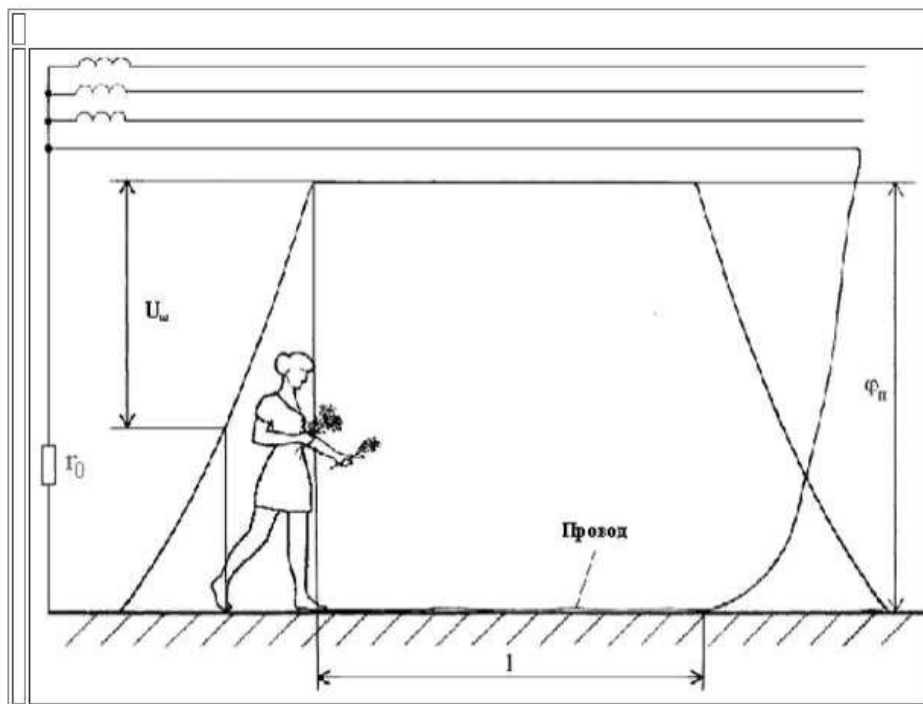
## Задача № 4

При возвращении из аэропорта коммерческого директора и переводчицы фирмы после проводов иностранных партнеров произошла поломка автомобиля. Пока шофер занимался ремонтом, переводчица спустилась с дороги, чтобы набрать полевых цветов. Не заметив лежащий в траве оборванный фазный провод воздушной линии электропередачи, она наступила на него ногой. Оценить опасность электропоражения, если ноги находятся на одной прямой с оборванным проводом. Обувь промокла от росы, поэтому ее сопротивление можно не учитывать. Сопротивлением растекания с ног пренебречь. Длина участка провода, лежащего на земле, намного больше его диаметра  $d$ .

Опишите все способы, которыми могут воспользоваться коммерческий директор и шофер для освобождения пострадавшей от воздействия электрического тока.

Исходные данные

Линия электропередачи трехфазная четырехпроводная с заземленной нейтралью, фазное напряжение - 220В. Диаметр провода - 14мм. Расстояние от конца провода, которого коснулась нога до второй ноги - 0,7м.





# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

*Схема для анализа*

$R_h$  - сопротивление тела переводчицы по пути тока нога-нога

$l$  - длина участка провода лежащего на земле

$r$  - удельное сопротивление грунта

$r_0$  - сопротивление заземления нейтрали

Вариант	$R_{гг}$ Ом	$l$ , м	$r$ , Ом×м	$r_0$ Ом
А				5,7
Б				9,3
В				8,1
Г				6,2
Д				3,4

*Вблизи упавшего провода потенциалы поверхности земли изменяются, как показано на рисунке.*

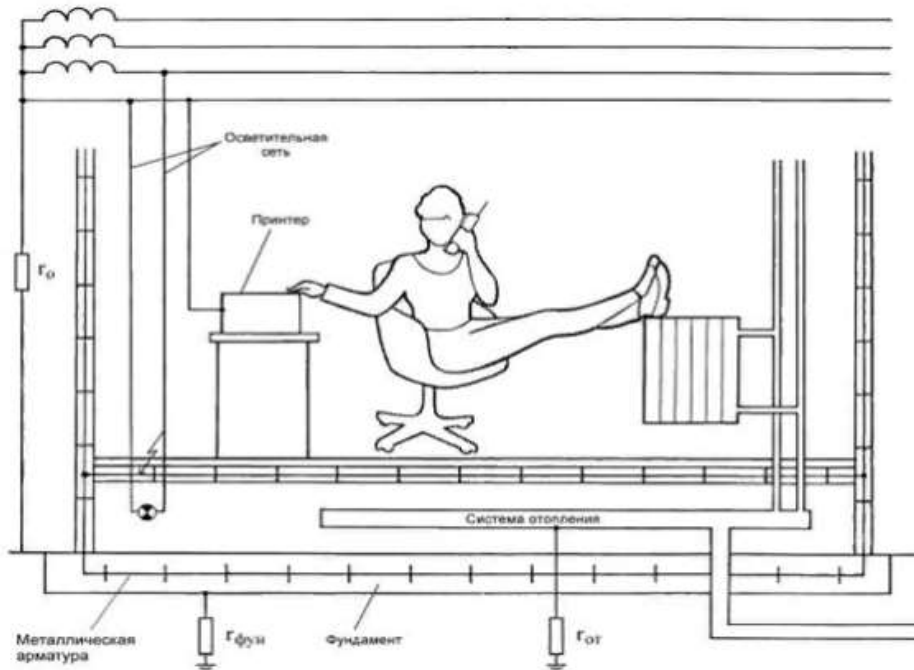
*Нога, которая касается провода, имеет потенциал  $\varphi_n$*

При ремонтных работах в подвальном помещении страховой компании была повреждена изоляция осветительной проводки, и фазный провод коснулся арматуры железобетонного перекрытия, электрически связанной с арматурой фундамента здания. Оцените опасность для сотрудницы компании, которая, разговаривая по телефону в своем кабинете, положила ноги на батарею отопления, при этом рукой она коснулась корпуса зануленного принтера. Для упрощения анализа будем полагать, что сотрудница касается батареи оголенной ногой.

## Исходные данные

Система освещения и все оборудование страховой компании запитаны от трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью; фазное напряжение - 220В. Сопротивление заземления нейтрали  $r_0$  - 3.9 Ом.

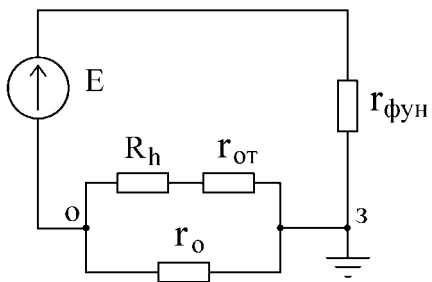
## Схема для анализа





# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Вариант	$r_{\text{фун}}, \text{ Ом}$	$r_{\text{от}}, \text{ Ом}$	$R_h, \text{ Ом}$
А	82	140	4100
Б	27	350	3800
В	35	270	2500
Г	12	76	2400
Д	18	58	1200







## Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Величину  $\lambda_i = k_i/T$  назовем интенсивностью потока опасных событий категории  $i$ . Будем подразумевать, что  $k_i$  – величина среднестатистическая. Следовательно,  $\lambda_i$  есть среднестатистическое число событий  $i$ -й категории в единицу времени.

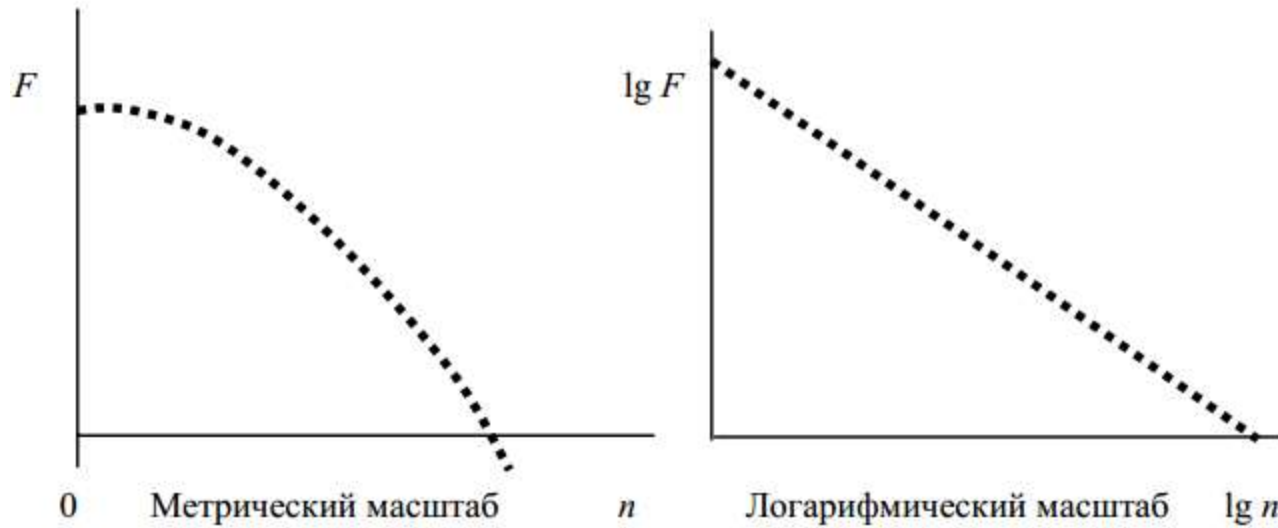
Теперь вычислим функцию:

$$R = F(n) = \sum_{i=n}^m \lambda_i = \left( \sum_{i=n}^m k_i \right) / T . \quad (1.2)$$

*Социальный риск – функция зависимости частоты опасных происшествий с числом пораженных людей в каждом из них не менее заданного числа  $n$  от этого числа.*



# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»





Случайность опасных событий и ситуаций по времени их совершения чаще всего описывается моделью пуассоновского распределения:

$$P(n) = [(\lambda\tau)^n/n!] \exp(-\lambda\tau), \quad (1.1.1)$$

где  $P(n)$  – вероятность того, что за промежуток времени  $\tau$  произойдет ровно  $n$  опасных случаев при условии, что среднестатистическая частота их повторения равна  $\lambda$  и остается постоянной во времени.

При необходимости математически описать случайность опасных случаев и во времени, и по территории, может быть применена аналогичная по конструкции формула:

$$P(n) = [N\tau\sigma/TS]^n/n! \exp(-N\tau\sigma/TS), \quad (1.1.2)$$

где  $P(n)$  – вероятность того, что за промежуток времени  $\tau$  в регионе площадью  $\sigma$  произойдет ровно  $n$  опасных случаев;  $N$  – математическое ожидание числа опасных случаев за промежуток времени  $T$  на территории площадью  $S$ .



Наиболее простой и распространенной математической моделью закона надежности является так называемый «экспоненциальный закон надежности», выражаемый формулой:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.1.6)$$

$\lambda$  – параметр с размерностью обратной размерности времени, в частном случае – константа.

Для такого частного случая справедливы соотношения:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

откуда

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)} = -P'(t) / P(t) = -\frac{d}{dt} [\ln P(t)] = 1 / \bar{t}. \quad (1.1.7)$$

Параметр  $\lambda$  называется интенсивностью потока отказов и имеет значимый физический смысл. Если взять для испытания на надежность  $n_0$  однотипных элементов и в процессе испытания в промежутке времени от  $t$  до  $t + \Delta t$  регистрировать число отказавших элементов  $m(t, t + \Delta t)$ , то при условии, что к моменту  $t$  число работоспособных элементов окажется равным  $n(t)$ , будет справедливым соотношение:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(t, t + \Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t}. \quad (1.1.8)$$

Это позволяет трактовать  $\lambda$  как долю выходящих из строя элементов в единицу времени. Или по иному,  $\lambda$  – условная плотность вероятности отказа элемента в момент времени  $t$ , при условии, что до момента  $t$  он функционировал безотказно. Кстати, для  $f(t)$  справедливо:

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(t, t + \Delta t)}{n(0) \cdot \Delta t}.$$



При исследовании совокупности опасных случаев (с большим перечнем объектов поражения или (и) с различной степенью их поражения) продуктивным может стать представление такой ситуации в виде марковского случайного процесса, который мыслится как случайные мгновенные изменения системой (совокупностью) объектов своих состояний  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, i, \dots, m$ . Среднестатистическую частоту случайных событий изменений состояний в направлении из  $i$ -го в  $j$ -е обозначим  $\lambda_{ij}$ . Тогда производная по времени от вероятности  $i$ -го состояния может быть выражена уравнением Колмогорова:

$$dP_i(t)/dt = -P_i(t) \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} + \sum_{j=1}^m P_j \lambda_{ji}, \quad i, j = 1, 2, \dots, m. \quad (1.1.3)$$





Количественным показателем надежности чаще всего служит вероятность сохранения надежности или безотказности. Эта вероятность является убывающей функцией времени, обозначим ее  $P(t)$  и будем именовать *законом надежности*. Время безотказной работы  $t$  – величина случайная, ее функция распределения  $F(t)$  и плотность распределения  $f(t)$  связаны с критерием надежности:

$$F(t) = 1 - P(t), \quad f(t) = dF(t)/dt = -dP(t)/dt. \quad (1.1.4)$$

Среднее время безотказной работы, т.е. его математическое ожидание равно:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t f(t) dt. \quad (1.1.5)$$



Наиболее простой и распространенной математической моделью закона надежности является так называемый «экспоненциальный закон надежности», выражаемый формулой:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.1.6)$$

$\lambda$  – параметр с размерностью обратной размерности времени, в частном случае – константа.

Для такого частного случая справедливы соотношения:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

откуда

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)} = -P'(t) / P(t) = -\frac{d}{dt} [\ln P(t)] = 1/\bar{t}. \quad (1.1.7)$$



Наиболее простой и распространенной математической моделью закона надежности является так называемый «экспоненциальный закон надежности», выражаемый формулой:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.1.6)$$

$\lambda$  – параметр с размерностью обратной размерности времени, в частном случае – константа.

Для такого частного случая справедливы соотношения:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

откуда

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)} = -P'(t) / P(t) = -\frac{d}{dt} [\ln P(t)] = 1/\bar{t}. \quad (1.1.7)$$





Параметр  $\lambda$  называется интенсивностью потока отказов и имеет значимый физический смысл. Если взять для испытания на надежность  $n_0$  однотипных элементов и в процессе испытания в промежутке времени от  $t$  до  $t + \Delta t$  регистрировать число отказавших элементов  $m(t, t + \Delta t)$ , то при условии, что к моменту  $t$  число работоспособных элементов окажется равным  $n(t)$ , будет справедливым соотношение:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(t, t + \Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t}. \quad (1.1.8)$$

Это позволяет трактовать  $\lambda$  как долю выходящих из строя элементов в единицу времени. Или по иному,  $\lambda$  – условная плотность вероятности отказа элемента в момент времени  $t$ , при условии, что до момента  $t$  он функционировал безотказно. Кстати, для  $f(t)$  справедливо:

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(t, t + \Delta t)}{n(0) \cdot \Delta t}.$$



Численное значение интенсивности потока отказов элемента (любого технического устройства) можно найти опытным путем, подвергая опытные данные обработке согласно формуле (1.1.8). Параметр  $\lambda$  при этом может оказаться как постоянной, так и переменной во времени величиной. В любом случае вероятность безотказной работы на протяжении времени  $t$  может быть найдена по соотношению:

$$P(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t') dt' \right]. \quad (1.1.9)$$



# Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»