

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. А. Евдокимова**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность

Калининград  
2024

**Евдокимова, Н.А.** Математическое моделирование: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр. подгот. 20.03.01 Техносферная безопасность / Н.А. Евдокимова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 35 с.

В учебно-методическом пособии содержатся указания по выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины «Математическое моделирование», включающие цель проведения, материальное обеспечение, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, требования к содержанию отчетов, вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемых источников.

Список лит. – 3 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» «26» апреля 2024 г., протокол № 4

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1: Расчеты и анализ количественных показателей уровней профессиональных рисков .....	6
Лабораторная работа 2: Моделирование рисков профессионально обусловленных заболеваний .....	8
Лабораторная работа 3: Моделирование рисков возникновения несчастного случая .....	11
Лабораторная работа 4: Исследование математической модели задачи оценки состояния условий труда .....	13
Лабораторная работа 5: Исследование задачи проектирования съемного грузозахватного приспособления .....	17
Лабораторная работа 6: Исследование задачи проектирования вентиляционной системы .....	20
Лабораторная работа 7: Исследование математических моделей задач управления охраной труда.....	22
Лабораторная работа 8: Исследование математической модели задачи распределения средств на цели снижения профессиональных рисков .....	25
Лабораторная работа 9: Исследование простейших моделей чрезвычайных ситуаций .....	31
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование» является формирование основных понятий, методов и приемов построения математических моделей при решении практических задач, направленных на обеспечение техносферной безопасности.

Задачей дисциплины «Математическое моделирование» является приобретение необходимых знаний, умений и навыков составления и исследования математических моделей задач, возникающих в техносферной безопасности, является важной составляющей подготовки специалиста по этому направлению.

Целью практикума является освоение практических методов составления и исследования математических моделей задач, возникающих в техносферной безопасности.

Задачами практикума являются:

- освоение основных методов математического моделирования применительно к задачам техносферной безопасности;
- приобретение навыков формирования математических моделей применительно к задачам охраны труда, защите в чрезвычайных ситуациях.

В результате освоения заданий практикума студент должен

**знать:**

основные понятия, методы и приемы математического моделирования применительно к прикладным задачам техносферной безопасности.

**уметь:**

- формировать математические модели применительно к задачам охраны труда, защите в чрезвычайных ситуациях, применять математические методы для их анализа;

- строить оптимальные планы внедрения мероприятий, нормализующих рабочую среду и снижающих уровень травматизма на основе решения оптимизационных задач;

- использовать в целях моделирования программное обеспечение.

**владеть:**

- навыками разработки математических моделей задач обеспечения техносферной безопасности и их исследования.

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цели и задачи дисциплины; цели и задачи практикума; требования к знаниям, умениям и навыкам, которыми должен овладеть студент после выполнения заданий практикума;

основной части, которая содержит тему и цель каждого лабораторного занятия, задание по лабораторной работе, методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета, теоретический материал, выводы, форму отчета по лабораторному занятию, а также вопросы для самоконтроля;

списка рекомендуемых источников.

## Лабораторная работа № 1

**Тема:** Расчеты и анализ количественных показателей уровней профессиональных рисков

**Цель работы:** формирование умений и навыков исследования вероятности несчастных случаев в зависимости от исходных величин.

### Задание по лабораторной работе

1) изучить математическую модель, связывающую один из показателей профессионального риска – вероятность  $k$  несчастных случаев  $P(k)$  в зависимости от показателя травмоопасности – коэффициента частоты несчастных случаев  $K_{\text{ч}}$ , количества работников  $N$  в организации, продолжительности работы  $t$ , лет, а также коэффициента  $\beta$ , учитывающую степень объективности учета происшедших несчастных случаев;

2) провести необходимые расчеты и заполнить таблицы следующей формы:

		Форма таблиц					
$t$ , лет $N$ , чел.		1	5	10	15	20	25
10							
50							
250							

3) построить графики зависимостей  $P(k) = f(t, N)$ ;

4) работа выполняется согласно указываемому преподавателем варианту задания – см. таблицу 1.

### Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Изучить подраздел 1.2 учебного пособия [1]. Работу выполнить для значений  $k=0$  (вероятность безопасной работы),  $k=1$ ,  $k=2$ . В расчетах принять коэффициент  $\beta=1$  (расследование и учет несчастных случаев осуществляются объективно), коэффициент частоты  $K_{\text{ч}}$  принять равным по варианту, указываемому преподавателем.

В отчете представить цель работы, математическую модель зависимости  $P(k)$  от  $K_{\text{ч}}$ ,  $N$ ,  $t$ ,  $\beta$  заполненные три таблицы для разных значений  $k$ , графики зависимостей  $P(k) = f(t, N)$ , выводы и практические рекомендации по обеспечению безопасности производственной деятельности.

Таблица 1 - Варианты заданий для лабораторной работы № 1

Варианты заданий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Значения $K_{\text{ч}}$	2,5	10,5	5,4	3,2	15,6	12,7	9,4	8,6	3,5	1,7	7,9

## Теоретический материал

Поток несчастных случаев, связанных с производством, распределяется по дискретному пуассоновскому закону. Этот закон предполагает, что указанный поток обладает свойствами стационарности - интенсивность несчастных случаев не зависит от времени работы, ординарности - вероятность возникновения двух и более несчастных случаев на малом отрезке времени является величиной более высокого порядка малости по сравнению с вероятностью одного случая травмирования, отсутствием последействия - на любых двух неперекрывающихся отрезках времени числа проявлений несчастных случаев независимы. Стационарность доказывается тем, что число случаев травмирования по годам меняется незначительно, ординарность - тем, что групповые несчастные случаи происходят крайне редко. Отсутствие последействия подтверждается тем, что число несчастных случаев, например, в декабре не зависит от того, сколько их было в предыдущем месяце, т.е. несчастные случаи появляются на оси времени по причинам, независимым от самих этих случаев. В результате выполненных исследований получено:

$$P(k) = \frac{\left(\frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta\right)^k}{k!} \exp\left(-\frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta\right), \quad (1)$$

где  $P(k)$  - вероятность  $k$  несчастных случаев,  $k = 0, 1, 2 \dots$ ;

$N$  - число работающих;

$t$  - продолжительность работы, лет;

$\beta$  - повышающий коэффициент, использующийся тогда, когда имеются основания считать официальные статистические данные о несчастных случаях заниженными. Имеются результаты исследований, из которых вытекает, что  $1 \leq \beta \leq 5$ .

Выражение (1) позволяет получать прогностические оценки различных событий, связанных с производственным травматизмом. Если принять, например,  $K_{\text{ч}} = 61,56$  (прибрежное рыболовство в одном из районов Испании),  $\beta = 1$ ,  $N = 1$ ,  $t = 1$  год, то по этому выражению может быть вычислена вероятность безопасной работы для одного человека в течение года:  $P(0) = 0,940296$ . Вероятность безопасной работы в течение всего трудового стажа ( $t = 25$  лет) будет  $0,214596$ . Может быть получен и риск  $R$  травмирования

$$R = 1 - P(0), \quad (2)$$

где  $P(0)$  вычисляется по выражению (1). При  $k = 0$  выражение (1) получает вид

$$P(0) = \exp \left( -\frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta \right). \quad (3)$$

При выполнении лабораторной работы студенты используют выражение (1).

### **Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. Как влияет продолжительность работы  $t$  на вероятность несчастного случая?
2. В какой зависимости находится вероятность несчастного случая от количества работников  $N$  в организации? Какие выводы вытекают из этой зависимости?
3. Как влияют значения  $t$  и  $N$  на вероятность безопасной работы?
4. Каковы ваши рекомендации, исходя из выполненной работы, по обеспечению безопасности производственной деятельности?

### **Лабораторная работа № 2**

**Тема:** Моделирование рисков профессионально обусловленных заболеваний

**Цель работы:** формирование умений и навыков оценки рисков возможных профессионально обусловленных заболеваний работников.

#### **Задание по лабораторной работе**

1) Изучить математические модели, связывающие риск профессионально обусловленных заболеваний с состоянием условий труда по отдельным факторам –  $x_i$ , числом этих факторов  $n$ , числом  $m$  рабочих мест в организации, количеством работников в организации, продолжительностью  $t$  работы.

2) Построить таблицы и графики, характеризующие риск профессионально обусловленных заболеваний на рабочем месте при продолжительности работы  $t=1, 5, 10, 15, 20, 25$  лет.

3) Построить таблицы и графики, характеризующие обобщенный риск профессионально обусловленных заболеваний в организации. Для этих расчетов использовать данные по рабочим местам, указанным в таблице вариантов.

4) работа выполняется согласно указываемому преподавателем варианту задания – см. таблицу на стр.8.

**Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета**

Изучите по учебному пособию подраздел [1].

Риск профессионально обусловленных заболеваний  $r_t$  на рабочем месте необходимо проанализировать по двум методикам

$$r_t = 1 - [\prod_{i=1}^n 0,2(x_{max} - x_i)]^{t/T}, \quad (1)$$

$$r_t = 1 - \{\prod_{i=1}^n [(x_{max} + 1) - x_i]/x_{max}\}^{t/T}, \quad (2)$$

где  $x_{max} = 6$ ,  $T=25$  лет;  $n$  – число учитываемых факторов.

Оценки риска  $x_i$  по шестибальной шкале указываются в варианте задания – см. таблицу 2. Порядковый номер варианта задания (по существу это номер рабочего места) указывает преподаватель.

Таблица 2 - Варианты заданий для лабораторной работы № 2

Вариант задания	Число работников $N_j$	Число факторов $n_j$	Оценки риска $x_{ij}$
1	5	3	$x_{11}=2,5; x_{21}=3; x_{31}=4$
2	4	2	$x_{12}=3,5; x_{22}=2$
3	7	4	$x_{13}=2; x_{23}=4; x_{33}=2,5; x_{43}=3$
4	2	2	$x_{14}=3; x_{24}=2,5$
5	3	3	$x_{15}=3,5; x_{25}=4; x_{35}=2,2$
6	6	3	$x_{16}=2; x_{26}=3; x_{36}=2$
7	4	2	$x_{17}=3,5; x_{27}=5$
8	3	4	$x_{18}=2; x_{28}=4; x_{38}=3; x_{48}=2,5$
9	8	4	$x_{19}=2; x_{29}=2,5; x_{39}=2; x_{49}=3$
10	1	3	$x_{110}=3; x_{210}=2,5; x_{310}=3,5$
11	6	2	$x_{111}=3,5; x_{211}=2$

Примечание к таблице 2. Подстрочные обозначения при  $x_{ij}$  имеют следующий смысл:  $i$  – номер фактора,  $j$  – порядковый номер варианта (рабочего места).

Результаты расчетов по моделям (1) и (2) нужно представить в табличной форме и в виде графиков. Форма таблицы для уровня рабочего места приведена ниже.

Для расчета обобщенного риска  $r_{об}$  необходимо вначале определить общую интенсивность  $I_{общ}$  воздействия опасных и вредных факторов по формуле

$$I_{общ} = \sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^{n_i} x_{ij}) \cdot N_j, \text{ ед} \quad (3)$$

где  $m=11$  – число рабочих мест;

$x_{ij}$  – оценка риска в баллах по шестибальной шкале для  $i$ -го фактора на  $j$ -м рабочем месте (выбираются из таблицы вариантов заданий);

$N_j$  – число работников на  $j$ -м рабочем месте (выбирается из таблицы вариантов заданий, чел.).

Обобщенный риск  $r_{об}$  для организации определяется по формуле

$$r_{об} = 1 - \left[ \frac{1}{x_{max}-1} \left( x_{max} - \frac{I_{об}}{\sum_{j=1}^m n_j N_j} \right) \right]^{t/T}, \quad (4)$$

где  $n_j$  – число учитываемых факторов на  $j$ -м рабочем месте.

В отчете привести все использованные формулы с расшифровками обозначений. Результаты расчетов представить в виде таблицы и в виде графика. Форма таблицы для уровня организации приведена ниже.

Форма таблицы для записи результатов расчета по рабочему месту  
(указать номер варианта задания)

Номер модели	Значение $r_t$ для различных $t$					
	1	5	10	15	20	25
1						
2						

Форма таблицы для записи результатов расчета  
обобщенного риска  $r_{об}$  для организации

Продолжительность работы $t$ , лет	1	5	10	15	20	25
Значение обобщенного риска $r_{об}$						

### Теоретический материал

Известно, что профессионально обусловленные заболевания составляют 25-40% от общей заболеваемости работников. Профессионально обусловленные заболевания возникают, прежде всего, в связи с наличием неблагоприятных (опасных или вредных) факторов условий труда. Именно наличие таких факторов создает риск заболеваний. Очень часто на рабочих местах могут быть несколько таких факторов. Поэтому в формулах (1) и (2) учитываются все подобные факторы.

Большое значение имеет и модель (4), с помощью которой может быть получен обобщенный прогноз риска заболеваний, относящийся ко всей организации. Его значение по отношению к одному году может изменяться в пределах от 0,03 до 0,15. Результаты расчетов, выполняемых студентами, не должны существенно выходить за указанные пределы.

### Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Что понимается под профессиональным риском?

2. Какие модели – (1) или (2) дают более объективные оценки риска и поэтому более предпочтительны?
3. Как влияет продолжительность работы  $t$  на уровень профессионально обусловленного риска?
4. Почему в расчетах риска используется установленная нормативная продолжительность трудового стажа  $T=25$  лет?
5. По каким основным направлениям может снижаться уровень профессионального риска в организации?

### **Лабораторная работа № 3**

**Тема:** Моделирование рисков возникновения несчастного случая

**Цель работы:** формирование умений и навыков использования математических моделей для оценки рисков возникновения несчастных случаев в зависимости от характеристик технологических процессов.

#### **Задание по лабораторной работе**

1) Изучить математические модели, связывающие риск несчастного случая с параметрами технологических процессов.

2) Построить таблицы и графики, характеризующие изменение риска несчастного случая, отнесенного к одному году, в зависимости от исходных величин.

3) Лабораторная работа выполняется по варианту, указываемому преподавателем. Исходные условия для каждого варианта приведены ниже в таблице.

#### **Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета**

Изучите по учебному пособию подраздел 2.2.1 [1]. Выпишите необходимые формулы.

Расчеты выполнить для варианта, указываемого преподавателем. Исходные условия для каждого варианта приведены ниже в таблице.

Полученные результаты представить в таблице, форма которой приведена ниже. Число циклов реализации технологического процесса взять по своему варианту (колонка 6 в таблице 3). По данным этой таблицы построить график  $R_r=f(N)$ , где  $R_r$  – расчетный годовой риск,  $N$  – число циклов реализации технологического процесса в течение года.

## Форма таблицы для записи результатов расчета

Число циклов реализации технологического процесса					
Риск несчастного случая, отнесенный к одному году					

Таблица 3 - Исходные условия для выполнения расчетов уровней рисков несчастных случаев

№ варианта	Вероятность появления травмоопасной ситуации	Вероятность нахождения в опасной зоне	Вероятность попадания травмирующего фактора	Вероятность отказа средств защиты	Число действий в операции	Число операций в технологическом процессе	Число циклов реализации технологического процесса в течение года
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$1 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	4	5	200,400,600,800
2	$4 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	3	7	100,200,300,400,500
3	$3 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-5}$	2	9	250,500,750,1000
4	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	3	6	200,550,750,1000
5	$4 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-5}$	5	10	150,350,500,650,800
6	$1 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	4	8	200,400,600,800
7	$4 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-5}$	5	7	250,500,750,1000
8	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-6}$	3	6	150,350,700,900
9	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-6}$	4	8	300,650,800,1000
10	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-5}$	5	6	100,200,300,400,500,600

В отчете привести все использованные формулы с расшифровками обозначений, таблицу с результатами расчетов по своему варианту, графики  $R_r=f(N)$ , выводы и предложения по выполненной работе.

### Теоретический материал

Несчастные случаи возникают в результате пересечения во времени и пространстве четырех событий (их вероятности обозначим  $P_{ij}$ ): появление травмоопасной ситуации ( $P_{1ij}$ ), нахождение в опасной зоне ( $P_{2ij}$ ), попадание травмирующего фактора ( $P_{3ij}$ ), отказ средств защиты ( $P_{4ij}$ ). Тогда вероятность или риск несчастного случая при выполнении  $ij$ -го элементарного действия  $P_{ij}(D)$  будет

$$P_{ij}(D) = P_{1ij} \cdot P_{2ij} \cdot P_{3ij} \cdot P_{4ij} \quad (1)$$

Производственные операции состоят обычно из нескольких действий. Риск несчастного случая при выполнении  $i$ -той операции  $P_i(0)$  будет равен

$$P_i(0) = 1 - \prod_{j=1}^{m_i} [1 - P_{ij}(D)], \quad (2)$$

где  $m_i$  – число действий в  $i$ -той операции.

Технологический процесс включает, как правило, несколько операций. Тогда риск несчастного случая при выполнении одного цикла реализации технологического процесса  $P_u(ТП)$  составит

$$P_u(ТП) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(0)], \quad (3)$$

где  $n$  – число операций в технологическом процессе.

Если в течение года выполняется  $N$  повторяющихся циклов реализации технологического процесса, то годовой риск будет

$$P_z(ТП) = 1 - [1 - P_u(ТП)]^N. \quad (4)$$

Приведенные выше формулы используются в расчетах по лабораторной работе. Исходные данные для этих расчетов приведены выше в таблице.

Если годовой риск  $P_r(ТП)$  окажется выше  $1 \cdot 10^{-6}$ , то необходимо внесение предложений, направленных на снижение уровня риска.

#### **Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. Как определяется риск несчастного случая при выполнении  $ij$ -го элементарного действия в ходе реализации технологического процесса?
2. Какие значения уровней рисков, связанных с несчастными случаями, принимаются в качестве допустимых?
3. Как влияет число циклов реализации технологического процесса (интенсивность труда) на уровень риска несчастных случаев?

#### **Лабораторная работа № 4**

**Тема:** Исследование математической модели задачи оценки состояния условий труда

**Цель работы:** формирование умений и навыков, позволяющих оценить текущее состояние условий труда при одновременном воздействии нескольких факторов.

#### **Задание по лабораторной работе**

- 1) Изучить существующие математические модели задачи оценки состояния условий труда при одновременном действии следующих факторов: повы-

шенный шум, повышенный уровень вибрации (по виброускорению), пониженная освещенность, повышенная концентрация вредных веществ (аммиак) в воздухе рабочей зоны.

2) Дать общую оценку состояния условий труда на рабочем месте.

3) Построить таблицы и графики, характеризующие влияние фактических значений указанных выше факторов на состояние условий труда на рабочем месте.

4) Варианты выполняемых заданий приведены ниже в таблице.

#### **Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета**

Изучите по учебному пособию подраздел 2.1 [1]. Состояние условий труда по  $i$ -му фактору можно оценить по формуле

$$S_i = 0,2(x_{max} - x_i), \quad (1)$$

где  $S_i$  - коэффициент безопасности (коэффициент условий труда) по  $i$ -му фактору; условия труда могут считаться благоприятными только если значение  $S_i$  близко к 1;

$$x_{max} = 6;$$

$x_i$  – оценка состояния условий труда по шестибальной шкале, определяемая по следующим формулам:

для повышенного шума

$$x_{ш} = 2 \cdot 10^{0,1 \cdot k_{ш} \cdot (L_{ф} - L_{ПДУ})}, \quad (2)$$

для повышенной технологической вибрации (по виброускорению)

$$x_{в} = 2 \cdot 10^{0,05 \cdot k_{в} \cdot (L_{афакт} - L_{аПДУ})}, \quad (3)$$

для пониженного освещения

$$x_{осв} = 2 \cdot (E_n / E_{ф})^{k_{осв}}, \quad (4)$$

для повышенной концентрации аммиака

$$x_{вр.в} = 2 \cdot (C_{ПДК} / C_{ф})^{k_{вр.в}}, \quad (5)$$

где  $k_{ш}$ ,  $k_e$ ,  $k_{осв}$ ,  $k_{вр.в}$  – психофизические коэффициенты, равные соответственно: 0,3; 0,77; 1,2; 0,55;

$L_\phi$ ,  $L_{a_{факт}}$ ,  $E_\phi$ ,  $C_\phi$  – фактические значения уровня шума, уровня виброускорения, освещенности, концентрации вредных веществ соответственно – см. таблицу 4;

$L_{ПДУ}$ ,  $L_{a_{ПДУ}}$ ,  $E_n$ ,  $C_{ПДК}$  – нормативные допустимые значения уровня шума, уровня виброускорения, освещенности, концентрации вредных веществ соответственно – приведены в таблице вариантов выполнения работы.

Общую оценку  $S$  состояния условий труда на рабочем месте определяют по формуле

$$S = \prod_{i=1}^n S_i, \quad (6)$$

где  $n$  – число учитываемых факторов состояния условий труда на рабочем месте.

Постройте график зависимости общей оценки  $S$  от состояния условий труда. Для этого нужно использовать значения факторов, последовательно приближающиеся к нормативным допустимым значениям, и получить 4 – 5 точек для построения графика  $S=f(S_i)$ . Например, для второго варианта задания в расчетах можно использовать следующие значения:

Шаг 1:  $L_\phi=79$  дБА;  $L_{a_{факт}}=104$  дБ;  $E_\phi=185$  лк;  $C_\phi=35$  мг/м<sup>3</sup>;

Шаг 2:  $L_\phi=78$  дБА;  $L_{a_{факт}}=103$  дБ;  $E_\phi=190$  лк;  $C_\phi=30$  мг/м<sup>3</sup>;

Шаг 3:  $L_\phi=77$  дБА;  $L_{a_{факт}}=102$  дБ;  $E_\phi=195$  лк;  $C_\phi=25$  мг/м<sup>3</sup>;

Шаг 4:  $L_\phi=L_{ПДУ}$ ;  $L_{a_{факт}}=L_{a_{ПДУ}}$ ;  $E_\phi=E_n$ ;  $C_\phi=C_{ПДК}$ .

Таблица 4 - Варианты заданий к лабораторной работе № 4

№ вариантов	Факторы условий труда							
	Шум, дБА		Вибрация, дБ		Освещенность, лк		Вредные вещества, мг/м <sup>3</sup>	
	$L_\phi$	$L_{ПДУ}$	$L_{a_{факт}}$	$L_{a_{ПДУ}}$	$E_\phi$	$E_n$	$C_\phi$	$C_{ПДК}$
1	84	80	106	100	250	300	35	20
2	80	75	105	100	180	200	40	20
3	86	80	104	100	240	300	38	20
4	69	65	107	100	310	400	24	20
5	79	75	105	100	180	200	29	20
6	68	50	109	100	420	500	42	20
7	89	80	106	100	270	300	48	20
8	80	75	104	100	320	400	56	20
9	56	50	108	100	150	200	45	20
10	69	65	107	100	220	300	39	20

По полученным четырем точкам уже может быть построен график  $S=f(S_i)$ . При этом значения  $S$  откладываются по вертикали, а порядковые номера шагов улучшения условий труда – по горизонтальной оси.

В отчете нужно представить цель работы, все формулы с расшифровками обозначений, результаты расчетов, график, выводы и предложения.

Результаты расчетов значений  $S$  рекомендуется представить в форме следующей таблицы 5.

Таблица 5 - Результаты расчетов значений  $S$

Номер шага	Факторы условий труда								Расчетные значения $S$
	Шум, дБА		Шум, дБА		Шум, дБА		Шум, дБА		
	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	$L_{\phi}$	
1									
2									
3									
4									
5									

Результаты расчетов по формулам (2-5) представить в виде отдельных таблиц, форму которых примите самостоятельно.

### Теоретический материал

Оценка состояния условий труда имеет большое практическое значение. Соответствующим оценочным показателем является коэффициент условий труда (коэффициент безопасности). Если этот коэффициент близок к единице, то состояние условий труда будет близко к нормативным требованиям. При значениях существенно ниже единицы, условия труда не соответствуют установленным государственным требованиям и могут быть вредными и опасными.

При проведении расчетов нужно учитывать, что состояние условий труда на рабочем месте является производным от состояния условий по всем формирующим факторам. Такую общую оценку позволяет получить формула (6).

### Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Какие учтенные факторы условий труда оказывают наиболее существенное влияние на общее состояние условий труда на рабочем месте?
2. Как рассчитывается общий показатель состояния условий труда на рабочем месте? Почему используется мультипликативный показатель?
3. Какие выводы следуют из формы зависимости  $S=f(S_i)$ , которую вы представили в отчете?

## Лабораторная работа № 5

**Тема:** Исследование задачи проектирования съемного грузозахватного приспособления

**Цель работы:** формирование умений и навыков проектирования съемных грузозахватных приспособлений, соответствующих требованиям безопасности.

### Задание по лабораторной работе

1) изучить математические модели, относящиеся к задачам проектирования съемных грузозахватных приспособлений в виде многоветвевых грузовых стропов;

2) выполнить расчеты и построить графики зависимости веса указанных изделий от угла между противоположными ветвями грузовых стропов;

3) работу выполнить в соответствии с вариантом, который указывает преподаватель. Варианты заданий приведены ниже в таблице.

### Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Изучите по учебному пособию подраздел 5.1 [1]. Вес  $P$ , кН, канатной части многоветвевых грузовых стропов рекомендуется рассчитывать с использованием следующей модели

$$P = n \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\left( k \frac{Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78 \right)}{13500}, \text{ кН} \quad (1)$$

где  $n$  – число ветвей грузового стропа;

$A$  и  $B$  – длина и ширина поднимаемого груза, м;

$\alpha$  – угол между противоположными ветвями грузового стропа;

$k=6$  – запас прочности;

$Q$  – вес поднимаемого груза, кН.

Выражение (1) получено в предположении, что для изготовления канатной части стропа используется стальной грузовой канат по ГОСТ 7665. Обработка данных из этого стандарта по методу наименьших квадратов приводит к следующим эмпирическим формулам

$$P_1 = (d - 6,48)/1000, \text{ кН}, \quad (2)$$

$$R = 13.5d - 86,7, \text{ кН}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр каната, мм;

$P_1$  – вес 1 м каната в кН;

$R$  – разрывное усилие каната в целом, кН.

Формулы (2) и (3) использованы в процессе формирования модели (1).

Грузовые стропы обычно снабжаются крюками. Модель (1) вес крюков не учитывает. Общий же вес  $P_{\text{общ}}$  стропа, очевидно будет

$$P_{\text{общ}} = P + nP_{\text{к}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{к}}$  – вес одного крюка, кН.

Величина  $P_{\text{к}}$  может быть выражена в зависимости от общей допустимой нагрузки  $T$  на крюк, которая определяется с учетом натяжения  $S$  ветви стропа и коэффициентов динамичности  $k_{\text{д}}$  и перегрузки  $k_{\text{п}}$ . Эти коэффициенты при подборе крюков принимаются равными по 1,1. Т.е. имеем

$$T = S \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{п}}. \quad (5)$$

Обработка по методу наименьших квадратов технических данных по грузовым однорогим крюкам с проушиной для подсоединения ветви стропа приводит к зависимости

$$P_{\text{к}} = 0,517 \cdot T - 6,44, \text{ Н} \quad (6)$$

Используя формулу (5) и формулу

$$S = \frac{Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (7)$$

из выражения (6) получаем

$$P_{\text{к}} = \frac{0,517Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} k_{\text{д}} k_{\text{п}} - 6,44, \text{ кН}. \quad (8)$$

С учетом модели (1), а также (8), после подстановки их в выражение (4) получаем

$$P_{\text{общ}} = \frac{n\sqrt{A^2+B^2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{k \frac{Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78}{13500} + \left( \frac{0,517Q k_{\text{д}} k_{\text{п}}}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 6,44n \right) \cdot 10^{-3}, \text{ кН} \quad (9)$$

В ходе выполнения работы сделать расчеты по моделям (1) и (9), принимая  $n=4$ ;  $k=6$ ;  $k_{\text{д}} = k_{\text{п}}=1,1$ . Значения  $Q$ , а также  $A$ ,  $B$  принимаются согласно варианту, указываемому преподавателем по таблице 6. Расчеты выполнить для

следующих углов  $\alpha$  между противоположными ветвями грузового стропа: 40°, 60°, 90°, 120°, 150°. По результатам расчетов заполнить таблицу 7, форма которой приведена ниже, и построить зависимости веса канатной части грузового стропа, общего веса стропа и веса крюков от угла  $\alpha$ . Все три зависимости построить на одном графике.

В отчете представить цель работы, модели (1) и (9) с расшифровкой обозначений, таблицу с результатами расчетов, зависимости  $P=f(\alpha)$ ,  $P_{\text{общ}}=f(\alpha)$ ,  $P_{\text{к}}=f(\alpha)$ , выводы и предложения.

Таблица 6 - Варианты заданий к лабораторной работе № 5

№ вариантов	Q, кН	A, м	B, м
1	100	1,2	6,0
2	140	1,2	6,0
3	180	1,0	5,0
4	110	1,2	6,0
5	160	1,4	5,0
6	170	1,5	4,0
7	115	1,2	4,0
8	130	1,1	5,0
9	150	1,2	6,0
10	160	1,3	5,0

Таблица 7 - Форма таблицы для записи результатов расчетов

Угол $\alpha$ между противоположными ветвями стропов	Вес P, кН, канатной части грузового стропа	Общий вес $P_{\text{общ}}$ , кН, стропа	Вес $P_{\text{к}}$ крюков: ( $P_{\text{общ}}-P$ )
40			
60			
90			
120			
150			

### Теоретический материал

Грузозахватные приспособления (грузовые стропы, траверсы, захваты) подвергаются интенсивному износу в процессе использования. В связи с этим их проектирование должно осуществляться в полном соответствии с требованиями безопасности.

Наиболее удобны в работе такие съемные грузозахватные приспособления, которые учитывают габариты, вес поднимаемых и перемещаемых грузов, требования безопасности и в то же время имеют минимальный общий вес, состоящий из веса канатной части и съемных деталей (крюки, соединительные скобы). Из формулы (9) следует, общий вес рассматриваемых приспособлений

зависит также от угла  $\alpha$  между противоположными ветвями канатной части грузового стропа. В ходе выполнения работы студенты должны определить значение этого угла, обеспечивающее минимальный вес изделия.

### **Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. Как влияет угол  $\alpha$  на вес канатной части грузового стропа, вес крюков и общий вес этого приспособления для подъема грузов?
2. При каком угле  $\alpha$  общий вес стропа оказывается минимальным?
3. Почему важно знать оптимальный угол  $\alpha$ , при котором строп имеет минимальный вес и в то же время обеспечивает безопасный подъем и перемещение груза?
4. Каким образом, используя модель (9), можно аналитическим путем определить угол  $\alpha$ , при котором грузовой строп будет иметь минимальный общий вес?
5. Как изменяется доля веса крюков в общем весе грузового стропа в зависимости от угла  $\alpha$ ?

### **Лабораторная работа № 6**

**Тема:** Исследование задачи проектирования вентиляционной системы

**Цель работы:** формирование умений и навыков учета требований охраны труда в задачах проектирования вентиляционных систем.

#### **Задание по лабораторной работе**

- 1) Изучите математическую модель задачи проектирования вентиляционной системы.
- 2) Определите оптимальные значения диаметра воздуховода и скорости движения воздуха в соответствии с вариантом задания – см. таблицу 8.

#### **Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета**

Изучите по учебному пособию раздел 4 [1], а по монографии «Математическое моделирование в охране труда» [3] - подраздел 4.8. Выпишите окончательные формулировки математической модели прямой формулировки задачи и математической модели двойственной программы. Расшифруйте все обозначения.

Определите оптимальные значения диаметра воздуховода и скорости движения воздуха с учетом исходных данных (значений коэффициентов полиномиальных членов – полиномов модели) для своего варианта. Варианты заданий приведены ниже в таблице.

В отчете указать цель работы, привести обе математические модели с расшифровкой всех обозначений, оптимальное значение критерия эффективности и оптимальные значения параметров вентиляционной системы.

## Теоретический материал

Вентиляционные системы являются одним из важнейших средств коллективной защиты работников. Однако при недостаточном учете требований охраны труда при проектировании вентиляционных систем, они часто становятся источником повышенного шума, вредного производственного фактора.

Поэтому возникает необходимость учета требований по ограничению вентиляционного шума уже на стадии проектирования этих систем. Известно следующее нормативное требование: в производственных помещениях уровень вентиляционного шума должен быть не менее чем на 5 дБА ниже предельно допустимого производственного шума – 80 дБА. Зависимости уровня излучаемого вентиляционного шума от технических характеристик систем вентиляции известны и они использованы в той математической модели, которая изучается в лабораторной работе.

Таблица 8 - Варианты заданий для лабораторной работы № 6

№ вариантов	Значения коэффициентов $q_i$			
	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$
1	0,6	0,0001	0,3	0,0008
2	0,7	0,00009	0,35	0,001
3	0,5	0,00009	0,4	0,0006
4	0,7	0,0001	0,4	0,0009
5	0,6	0,0001	0,4	0,0006
6	0,5	0,00006	0,25	0,0007
7	0,7	0,00008	0,3	0,0006
8	0,5	0,0007	0,2	0,001
9	0,6	0,00006	0,35	0,0007
10	0,7	0,0001	0,3	0,0008

## Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Какую степень трудности имеет задача, исследуемая в данной лабораторной работе? Как определяется степень трудности?
2. Какой показатель принят в качестве критерия эффективности в исследуемой задаче?
3. Каким образом определяются оптимальные значения двойственных и прямых переменных в геометрическом программировании?
4. Как составляются условия нормализации и ортогональности при решении задачи геометрического программирования?

## Лабораторная работа № 7

**Тема:** Исследование математических моделей задач управления охраной труда

**Цель работы:** формирование умений и навыков разработки оптимальных внутрисменных режимов труда и отдыха работников.

### Задание по лабораторной работе

1) Изучить математические модели отдельных задач управления охраной труда.

2) Разработать оптимальный внутрисменный режим работы при повышенном шуме.

### Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Изучите по учебному пособию раздел 7 [1]. Особое внимание обратите на подраздел 7.2.

При повышенном уровне производственного шума (более 80 дБА) в качестве меры профилактики возможно чередование занятости работников на рабочих местах с повышенным уровнем шума (продолжительность работы  $t_1$ ) и с меньшим уровнем (продолжительность работы  $t_2$ ). Очевидно, сумма ( $t_1 + t_2$ ) должна быть равна продолжительности рабочей смены  $T$ , т.е.

$$t_1 + t_2 = T. \quad (1)$$

Кроме того, сменная доза шума за время рабочей смены не должна превышать допустимого значения –  $D_{\text{доп}}$ .

Доза шума, как известно, определяется по формуле

$$D = P^2 \cdot T, \quad (2)$$

где  $P$  – звуковое давление, Па.

Необходимо найти такие значения  $t_1$  и  $t_2$ , при которых суммарная доза шума не превышала бы  $D_{\text{доп}}$ , т.е. должно соблюдаться условие

$$P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 = D_{\text{доп}}. \quad (3)$$

В уравнениях (1) и (3) известными могут быть величины  $T$ ,  $P_1$  и  $D_{\text{доп}}$ . Незвестных величин три –  $t_1$ ,  $t_2$  и  $P_2$ . Поэтому необходимо третье уравнение, связывающее эти величины. Оно может быть получено, исходя из следующего положения. Очевидно, продолжительность работы в шумных условиях должна быть обратно пропорциональна квадрату звукового давления, т.е. имеем

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{P_2^2}{P_1^2} \quad (4)$$

Запишем полученную систему из трех уравнений

$$\begin{aligned} P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 &= D_{\text{доп}}, \\ t_1 + t_2 &= T, \\ P_1^2 t_1 &= P_2^2 t_2 \end{aligned} \quad (A)$$

Используя два последних уравнения системы А, получаем  $t_1 = T - t_2$ , а подставляя значение для  $t_1$  в последнее уравнение системы А после преобразований находим

$$t_2 = \frac{P_1^2 T}{P_1^2 + P_2^2} \quad (5)$$

Полученное выражение (5) подставим во второе уравнение системы А. После преобразований будем иметь

$$t_1 = \frac{P_2^2 T}{P_1^2 + P_2^2} \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) подставляем в первое уравнение системы А. Получаем

$$P_2 = \sqrt{\frac{D_{\text{доп}} P_1^2}{2P_1^2 T - D_{\text{доп}}}} \quad (7)$$

Зная звуковое давление  $P$ , по известной формуле

$$L = 20 \lg P / P_{\text{пор}}, \quad (8)$$

находят уровень звука  $L$ , дБА.

В формуле (8)  $P_{\text{пор}}$  – пороговое значение звукового давления, равное  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Расчеты по формулам (5), (6), (7) и (8) выполнить согласно вариантам, представленным в таблице 9.

Таблица 9 - Варианты заданий для лабораторной работы № 7

№ вариантов	1	2	3	4	5
$L_{\text{пду}}$ , дБА	80	75	70	65	60
$D_{\text{доп}}$ , Па <sup>2</sup> ·ч	0,32	0,10	0,03	0,010	0,0032

Результаты расчетов представить в виде таблицы 10, форма которой приведена ниже.

Значение  $P_1$  определяется по выражению, которое следует из формулы (8), а именно

$$P = P_{\text{пор}} 10^{0.05L}. \quad (9)$$

Таблица 10 - Таблица для записи результатов расчетов

Фактический уровень шума, дБА	$P_1$ , Па	$P_2$ , Па	$L_2$ , дБА	$t_1$ , ч	$t_2$ , ч	$t_1 + t_2$
$L_{\text{пдд}}+1$ , дБА						
$L_{\text{пдд}}+2$ , дБА						
$L_{\text{пдд}}+3$ , дБА						
$L_{\text{пдд}}+4$ , дБА						
$L_{\text{пдд}}+5$ , дБА						

Значение  $P_2$  находится по формуле (7), а значения  $t_1$  и  $t_2$  – по формулам соответственно (6) и (5).

Значение  $L_2$  определяется по формуле (8), используя расчетные значения  $P_2$ .

По расчетным данным построить графики зависимостей  $t_1$ ,  $t_2$  и  $L_2$  (откладываются по оси ординат) от фактического уровня шума. Все графики представить на одном рисунке. При этом левую ось ординат использовать для  $t_1$  и  $t_2$ , а правую – для  $L_2$ . Возможно использование разных рисунков.

В отчете указать цель работы, привести все используемые формулы с расшифровками обозначений, таблицу с результатами расчетов, графики. Изложить выводы и предложения.

### **Теоретический материал**

Разработка оптимальных, то есть соответствующих требованиям охраны здоровья, внутрисменных графиков работы имеет большое практическое значение. В основу таких разработок и последующих рекомендаций может использоваться дозный подход. Он заключается в том, что в отдельные периоды рабочей смены уровень действующего фактора условий труда может быть выше допустимых значений. И для того, чтобы сменная допустимая доза воздействия не превышалась необходимо определить значения фактора и время работы в другие периоды смены, обеспечивающие соблюдение сменной допустимой дозы.

Лабораторная работа выполняется при допущении наличия на рабочем месте повышенного шума. Однако аналогичный дозный подход может быть использован и при наличии других факторов – вибрации, вредных излучений, химических веществ в рабочей зоне.

### Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Как изменяются значения  $t_1$  и  $t_2$  в зависимости от превышения фактического уровня шума над предельно допустимым (ПДУ)?
2. Как рассчитывается доза шума?
3. Как определяется звуковое давление в зависимости от уровня шума?
4. Каким образом решается система из трех уравнений с тремя неизвестными?

### Лабораторная работа № 8

**Тема:** Исследование математической модели задачи распределения средств на цели снижения профессиональных рисков

**Цель работы:** формирование умений и навыков решения задач распределения средств на цели снижения профессиональных рисков.

#### Задание по лабораторной работе

1) Изучить математическую модель задачи распределения средств на цели снижения профессиональных рисков.

2) Рассчитать оптимальный годовой план мероприятий по снижению профессиональных рисков в зависимости от исходных данных.

3) Варианты заданий по лабораторной работе приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Варианты выполнения лабораторной работы № 8

№ вариантов	Годовой объем финансирования, тыс. руб.	Финансирование по кварталам, тыс. руб.			
		первый	второй	третий	четвертый
1	720,0	180,0	180,0	100,0	180,0
2	650,0	200,0	150,0	150,0	150,0
3	650,0	150,0	150,0	150,0	200,0
4	550,0	150,0	200,0	100,0	100,0
5	700,0	200,0	200,0	150,0	150,0

### Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Изучите по учебному пособию [2] подраздел 1.12.

Математическая формулировка задачи снижения профессиональных рисков заключается в следующем:

$$\begin{aligned} & \text{минимизировать} \\ & D = (\sum_{i=1}^m x_i N_i) \cdot T \\ & \text{при ограничениях} \\ & 1) \sum_{i=1}^m W_i \leq W_{\text{общ}} \end{aligned} \quad (\text{A})$$

$$2) W_i \leq W_{n_i},$$

где  $D$  – доза воздействия ОВПФ, ед.;

$m$  – число выявленных ОВПФ;

$x_i$  – оценка риска в баллах по шестибальной шкале по  $i$ -му фактору;

$N_i$  – число работников, находящихся под воздействием  $i$ -го ОВПФ;

$W_i$  – затраты на устранение  $i$ -го ОВПФ;

$W_{\text{общ}}$  – общие допустимые затраты на устранение ОВПФ;

$W_{n_i}$  – планируемые затраты по смете на устранение  $i$ -го ОВПФ.

Исследования показывают, что максимальное снижение дозы  $D$  обеспечивается соблюдением оптимальной последовательности реализации предупредительно-профилактических мероприятий, которая устанавливается по величине коэффициента  $E_i$  социально-экономической эффективности

$$E_i = (x_{n_i} - x_{п_i}) \cdot N_i / W_{п_i}, \quad (1)$$

где  $x_{n_i}$  – начальная оценка риска в баллах – на начало периода планирования;

$x_{п_i}$  – планируемая оценка риска в баллах. Рекомендуется, чтобы выбирались такие мероприятия которые обеспечивают  $x_{п_i}=1$  (оптимальные условия) или  $x_{п_i}=2$  (допустимые условия). Если балл риска превышает 2, то это говорит о неблагоприятных (опасных или вредных) условиях труда, а баллом  $x_i=6$  характеризуются критические условия (особо опасные и вредные).

Баллы риска  $x_i$  определяются по данным специальной оценки условий труда, либо по психофизическим формулам – см. подраздел 2.1 учебного пособия [2] и материалы по лабораторной работе № 2.

В лабораторной работе значения  $x_{n_i}$ ,  $x_{п_i}$ ,  $N_i$  и  $W_{п_i}$  приведены в исходных данных для выполнения работы – см. таблицу 12.

В ходе выполнения лабораторной работы студенты заполняют самостоятельно колонки 4, 7 и 9 приведенной таблицы 12.

После этого заполняется таблица 13. Первая колонка этой таблицы заполняется по показателю  $E_i$  в таблице 12: мероприятия с большим  $E_i$  выполняются в первоочередном порядке, т.е. все мероприятия перечисляются в последовательности по мере уменьшения  $E_i$ .

Колонка 2 в таблицы 13 заполняется путем добавления к предыдущей стоимости мероприятий стоимости следующего.

В колонке 3 таблицы 13 квартал года (составляется программа на год) определяется исходя из допустимых затрат на квартал и затрат нарастающим итогом – колонка 2. Если в этой колонке затраты приблизились к объему фи-

нансирования на первый квартал, то получим перечень мероприятий на этот квартал. Последующие мероприятия перейдут на второй и последующий кварталы.

Таблица 12 - Таблица исходных данных к лабораторной работе № 8

Порядковый номер и наименование идентифицированных ОВПФ	Балл профессионального риска $x_{нi}$	Число работников $N_i$ , на которых распространяется действие i-го ОВПФ	Оценка риска $R_n$ на начало периода планирования по каждому ОВПФ $R_{нi} = x_{нi} \cdot N_i$	№ и наименование профилактических мероприятий	Планируемый балл профессионального риска $x_{пi}$	Оценка остаточного риска по каждому ОВПФ $R_{остi} = x_{пi} \cdot N_i$	Планируемые затраты по смете на выполнение профилактических мероприятий $W_{пi}$ , тыс. руб.	Показатель $E_i$ социально-экономической эффективности профилактических мероприятий, вычисляется по формуле (1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Повышенная физическая нагрузка	4	9		1. Установка транспортера	2		45,0	
2. Повышенная травмоопасность	5	4		2. Восстановление заблокированных устройств	2		50,0	
3. Повышенная запыленность в цехе № 1	3	18		3. Устройство местной вытяжной вентиляции	2		80,0	
4. Повышенная запыленность в цехе № 2	3	23		4. Устройство общеобменной вентиляции	1		160,0	

Окончание таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Повышенный шум	4	14		5. Установка акустического экрана	2		35,0	
6. Недостаточная общая освещенность в цехе № 1	4	18		6. Реконструкция системы общего освещения	1	0	90,0	
7. Несоответствие санитарно-бытового обеспечения работников	3	38		7. Увеличение числа умывальников и душевых сеток до нормативного уровня	1	0	100,0	
8. Неисправное местное освещение	3	8		8. Восстановление местного освещения	1	0	15,0	
9. Повышенная температура	4	17		9. Реконструкция общеобменной вентиляции	2		140,0	
Суммы	-	-	149	-	-	$R_{ост} =$	715,0	-

Таблица 13

Оптимальная последовательность осуществления мероприятий. Указать номер и наименование мероприятия	Затраты $W_{\pi_i}$ нарастающим итогом	Квартал, в котором необходимо осуществить мероприятие	Снижение риска $\Delta R_i =$ $= x_{H_i} \cdot N_i$ $- x_{\pi_i} \cdot N_i$	Снижение риска $\Delta R$ нарастающим итогом	Остаточный риск $R_{ост}$ убывающим итогом $R_{ост} =$ $= R_H - \Delta R$
1	2	3	4	5	6

Объемы финансирования на год и кварталы года указаны в таблице вариантов.

По итогам расчетов необходимо построить график снижения профессионального риска по кварталам года (используются данные колонки 6 в таблице 13) и рассчитать остаточную дозу  $D_{ост}$  воздействия ОВПФ для своего варианта по формуле

$$D_{ост} = \sum_{i=0}^4 \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \cdot 3, \quad (2)$$

где 4 – число кварталов в году;

3 – число месяцев в одном квартале;

$R_i$  – риск в начале квартала, ед.;

$R_{i+1}$  – остаточный риск в конце квартала, ед.

Для первого квартала ( $R_i = R_0$ ) соответствующее значение берется из колонки 4 табл.1 ( $R_H$ ).

Доза воздействия  $D_0$  при отсутствии каких-либо мероприятий в течение года определяется по формуле

$$D_0 = R_H \cdot 12, \quad (3)$$

где 12 – число месяцев в году.

Необходимо также рассчитать относительное снижение дозы воздействия ОВПФ  $\Delta D$  по выражению

$$\Delta D = \frac{(D_0 - D_{ост})}{D_0} \cdot 100\%. \quad (4)$$

В отчете по лабораторной работе нужно привести цель работы, математическую формулировку задачи, все формулы с расшифровкой обозначений, заполненные таблицы 12 и 13, график снижения профессионального риска по кварталам года, расчеты значений  $D_{ост}$  и  $\Delta D$ , выводы и предложения по работе.

## Теоретический материал

В реальных условиях в организациях могут быть выявлен ряд неблагоприятных факторов. Поэтому возникает задача распределения имеющихся средств по выявленным факторам с целью их доведения до нормативного уровня. Задача решается путем составления математической модели, в качестве критерия эффективности в которой используется доза воздействия. Исследование модели, которое учитывает и имеющиеся ограничения, позволяет указать профилактические мероприятия и сроки их реализации, обеспечивающие минимальную дозу воздействия опасных и вредных факторов к концу периода планирования – обычно три года и один год (годовой план). Отступление от полученной таким образом программы ведет к увеличению дозы воздействия указанных факторов и соответственно может возрасти число различных отклонений в состоянии здоровья работников.

### Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Как определяется доза воздействия ОВПФ?
2. Какой смысл имеют ограничения в модели А?
3. Как определяется остаточная доза воздействия ОВПФ?
4. Как рассчитывается относительная доза воздействия ОВПФ?
5. Почему именно максимальное снижение дозы воздействия ОВПФ принимается в качестве целевой функции в задаче распределения средств, выделяемых для снижения профессиональных рисков?

## Лабораторная работа № 9

**Тема:** Исследование простейших моделей чрезвычайных ситуаций

**Цель работы:** формирование умений и навыков построения и исследования простейших моделей чрезвычайных ситуаций.

### Задание по лабораторной работе

- 1) Изучить простейшую модель одной из возможных ЧС - математическую модель эпидемий.
- 2) Построить таблицы и графики, отражающие развитие эпидемии в зависимости от исходных величин.
- 3) Варианты заданий по лабораторной работе приведены ниже в таблице.

**Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета**

Изучите по учебному пособию [2] раздел 10. Выпишите необходимые формулы. Число заболевших  $x(t)$  необходимо определять по следующему выражению

$$x(t) = \frac{N+1}{Ne^{-k(N+1)t} + 1}, \quad (1)$$

где  $t$  – время от начала эпидемии, месяцев;

$N$  – количество здоровых людей в населенном пункте при  $t=0$ ;

$k$  – коэффициент пропорциональности.

Скорость возрастания числа заболевших  $d^2x/dt^2$  определяется по формуле

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{(N+1)^3 k^2 N [N \cdot e^{-2k(N+1)t} - e^{-k(N+1)t}]}{(N \cdot e^{-k(N+1)t} + 1)^3}. \quad (2)$$

Результаты расчетов по выражениям (1) и (2) необходимо выполнить в соответствии с вариантом задания, которое указывает преподаватель (см. таблицу 14).

Таблица 14 - Варианты заданий для лабораторной работы № 9

Вариант задания	$N$ , чел.	$k$
1	500000	$2 \cdot 10^{-6}$
2	1000000	$1 \cdot 10^{-6}$
3	250000	$3 \cdot 10^{-6}$
4	800000	$1,5 \cdot 10^{-6}$
5	150000	$1 \cdot 10^{-6}$

Результаты расчетов по выражениям (1) и (2) представить в форме следующей таблицы 15.

Таблица 15 - Форма таблицы для записи результатов расчетов

$t$ , мес	1	3	5	7	9	11	13	16
$x(t)$								
$\frac{d^2x}{dt^2}$								

По данным результатов расчетов представить графики зависимостей  $x(t)$  и  $\frac{d^2x}{dt^2}$  от  $t$ . Значения  $t$  следует откладывать по оси абсцисс.

По результатам расчетов скорости возрастания числа заболевших  $\frac{d^2x}{dt^2}$  сделать вывод о том, справедлива ли формула

$$t = \frac{\ln N}{k(N+1)},$$

которая определяет время от начала эпидемии, до которого скорость возрастания числа заболевших повышается, а потом убывает.

## **Теоретический материал**

Рассмотренная выше и предложенная для выполнения лабораторной работы математическая модель названа простейшей в связи с тем, что она не учитывает особенностей распространения эпидемий, вызванных разными видами возбудителей. Не учитывается также проведение противоэпидемических и режимно-ограничительных мероприятий. Тем не менее, и простейшая модель позволяет выявить некоторые закономерности развития эпидемических явлений.

### **Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. От чего зависит число заболевших в ходе развития эпидемии?
2. Что понимается под термином «эпидемия»? Что такое «эпизоотия»?
3. От чего зависит скорость возрастания числа заболевших в ходе эпидемии?
4. Какие общепринятые мероприятия позволяют снизить число заболевших в ходе эпидемии?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минько В.М. Математическое моделирование в техносферной безопасности: учебное пособие / В.М. Минько. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2015. – 130 с.
2. Минько В.М. Охрана труда: учебное пособие / В.М. Минько. – 2-е изд., перераб. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – 332 с.
3. Минько В.М. Математическое моделирование в охране труда: Монография. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2008. – 243 с.

*Локальное издание*

**Н. А. Евдокимова**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*Редактор И. Голубева*

Уч.-изд. л. 2,9. Печ. л. 2,2.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
236022, Калининград, Советский проспект, 1