

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

Н.А. Евдокимова

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

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

Калининград
2025

УДК 658.382.3

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ТБП
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Н.Р. Ахмедова

Евдокимова, Н.А. Методы исследования процессов и явлений в техносфере: учеб.-метод. пособие по выполнению лаб. работ для студ. магистратуры по напр. подгот. 20.04.01 Техносферная безопасность / **Н.А. Евдокимова** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 50 с.

В учебно-методическом пособии содержатся указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Методы исследования процессов и явлений в техносфере», включающие цель проведения, задание по лабораторным работам, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, требования к содержанию отчетов, вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемых источников.

Табл. 25, рис. 1, список лит. – 5 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 27 июня 2025 г., протокол № 6

УДК 658.382.3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет», 2025 г.
© Евдокимова Н.А., 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1: Исследование зависимости вероятности несчастных случаев от исходных формирующих показателей	7
Лабораторная работа 2: Исследование повреждающей способности производственной среды.....	9
Лабораторная работа 3: Анализ влияния характеристик технологического процесса на его травмоопасность.....	12
Лабораторная работа 4: Исследование общего состояния техносферы в зависимости от значений формирующих факторов	15
Лабораторная работа 5: Исследование и обеспечение процесса безопасного перемещения грузов	18
Лабораторная работа 6: Исследование развития эпидемиологической ситуации в населенном пункте.....	22
Лабораторная работа 7: Сравнительный анализ аварийности и травматизма в регионах и на объектах	24
Лабораторная работа 8: Применение метода экспертных оценок для исследования проблемных задач в техносферной безопасности	27
Лабораторная работа 9: Изучение и применение метода аппроксимации в геометрическом (полиномиальном) программировании при решении задач техносферной безопасности	31
Лабораторная работа 10: Оценка уровня управляемости процессов в области техносферной безопасности.....	35
Лабораторная работа 11: Исследование математической модели задачи обоснования направлений снижения масштаба профессионального риска в организациях	37
Лабораторная работа 12: Изучение и применение методики определения производственных операций с повышенной опасностью.....	42
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» является формирование навыков применения методов исследования процессов и явлений в техносфере, анализа проблемных ситуаций в области техносферной безопасности и оформления результатов научной деятельности в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Задачи дисциплины «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» заключаются в приобретении необходимых знаний, умений и навыков изучения и практического применения методов исследования процессов и явлений, в том числе составления и исследования математических моделей задач, возникающих в техносферной безопасности, что является важной составляющей подготовки специалиста по этому направлению.

Целью лабораторного практикума по дисциплине «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» является практическое освоение методов, используемых в области обеспечения техносферной безопасности, получение навыков их применения для решения конкретных и актуальных задач, возникающих в области техносферной безопасности.

Задачами лабораторного практикума являются:

- приобретение навыков теоретических методов, применяемых для решения задач охраны труда, промышленной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях;
- практическое освоение теоретических методов в области обеспечения техносферной безопасности с целью получения оптимальных решений возникающих в данной области задач.

В результате освоения заданий практикума студент должен

знать:

- теоретические методы, используемые в области техносферной безопасности;
- порядок оценки существующего уровня обеспечения безопасности в техносфере;
- основы формирования оптимальных задач в области обеспечения требований техносферной безопасности;
- основные направления обеспечения государственных требований в области техносферной безопасности.

уметь:

- использовать теоретические знания и методы для важнейших проблем в области обеспечения техносферной безопасности;
- определять наиболее приемлемые методы обеспечения техносферной безопасности, проводить экспертизу их ожидаемой эффективности с учетом конкретных условий применения.

владеть:

- навыками идентификации опасностей, оценки возможного повреждающего воздействия, применения современных методов и средств обеспечения и повышения уровня техносферной безопасности;
- навыками проведения необходимых расчетов.

Поскольку выполнение лабораторных работ планируется с применением персональных компьютеров, необходимо выполнять соответствующие требования безопасности. Перед началом работы необходимо:

- отрегулировать освещенность на рабочем месте, убедиться в отсутствии отражений (бликов) на экране и клавиатуре, а также встречного светового потока;
- проверить правильность подключения оборудования к электросети;
- проверить исправность розетки, вилки сетевого шнура, проводов питания на отсутствие оголенных участков проводов;
- проверить правильность расположения оборудования:
- кабели электропитания (включая переноски и удлинители) должны находиться с тыльной стороны рабочего места;
- источники бесперебойного питания для исключения вредного влияния его повышенных магнитных полей должны быть максимально удалены от рабочего места;
- проверить надежность подключения к системному блоку разъемов экранного проводника и периферийного оборудования.

При включении компьютера необходимо соблюдать следующую последовательность включения оборудования:

- включить блок питания;
- включить периферийные устройства (принтер, монитор, сканер и др.);
- включить системный блок (процессор).

Во время работы не допускается:

- прикасаться к задней панели системного блока (процессора) при включенном питании;
- производить переключение разъемов интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- работать при снятых и поврежденных кожухах средств оргтехники и другого оборудования;
- касаться элементов средств оргтехники и другого оборудования влажными руками;
- вскрывать корпуса средств оргтехники и другого оборудования и самостоятельно производить их ремонт;
- оставлять включенными электроприборы;
- работать при недостаточной освещенности рабочего места.

В случае обнаружения какой-либо неисправности, нарушающей нормальный режим работы, ее необходимо остановить. Обо всех замеченных недостатках поставить в известность преподавателя.

По окончании работы на компьютере необходимо отключить питание и привести в порядок рабочее место.

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: Исследование зависимости вероятности несчастных случаев от исходных формирующих показателей

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

Задание по лабораторной работе

1) изучить зависимость, связывающую один из показателей профессионального риска – вероятность k несчастных случаев $P(k)$ с показателем травмоопасности – коэффициентом частоты несчастных случаев $K_{\text{ч}}$, количеством работников N в организации, продолжительностью работы t , лет, а также с коэффициентом β , учитывающим степень объективности учета происшедших несчастных случаев;

2) провести необходимые расчеты и заполнить таблицы следующей формы:

Таблица 1.1 – Форма таблиц для заполнения результатов расчетов

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 1.2.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

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

Таблица 1.2 – 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 непрерывных 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:

$$P(k) = \frac{\left(\frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta \right)^k}{k!} \exp \left(- \frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta \right), \quad (1.1)$$

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

N – число работающих;

t – продолжительность работы, лет;

β – 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 (1.1) позволяет получать прогностические оценки различных событий, связанных с производственным травматизмом. Если принять, например, $K_{\text{ч}} = 61,56$, $\beta = 1$, $N = 1$, $t = 1$ 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

$$R = 1 - P(0), \quad (1.2)$$

где $P(0)$ вычисляется по выражению (1.1). При $k = 0$ выражение (1.1) получает вид

$$P(0) = \exp \left(-\frac{K_{\text{ч}}}{1000} N t \beta \right). \quad (1.3)$$

При выполнении лабораторной работы студенты используют выражение (1.1).

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: Исследование повреждающей способности производственной среды

Цель работы: формирование умений и навыков оценки рисков возможных профессионально обусловленных заболеваний работников в зависимости от состояния условий труда

Задание по лабораторной работе

1) изучить зависимости, 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 (таблица 2.1);

4) работа выполняется согласно указываемому преподавателем варианту задания – см. таблицу 2.1.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

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

$$r_t = 1 - [\prod_{i=1}^n 0,2(x_{max} - x_i)]^{t/T}, \quad (2.1)$$

$$r_t = 1 - \{\prod_{i=1}^n [(x_{max} + 1) - x_i]/x_{max}\}^{t/T}, \quad (2.2)$$

где $x_{max} = 6$;

$T=25$ лет – трудовой стаж;

n – число учитываемых факторов.

Оценки риска x_i по шестибалльной шкале указываются в варианте заданий – см. таблицу 2.1. Порядковый номер варианта задания (по существу это номер рабочего места) указывает преподаватель.

Таблица 2.1 – 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 2.1. Подстрочные обозначения при x_{ij} имеют следующий смысл: i – номер фактора, j – порядковый номер варианта (рабочего места).

Результаты расчетов по зависимостям (2.1) и (2.2) нужно представить в табличной форме и в виде графиков. Форма таблицы для записи результатов расчета по рабочему месту приведена ниже (таблица 2.2).

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

$$I_{общ} = \sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^{n_i} x_{ij}) \cdot N_j, \text{ ед} \quad (2.3)$$

где m – число рабочих мест (в лабораторной работе $m=11$);

x_{ij} – оценка риска в баллах по шестибалльной 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

$$r_{об} = 1 - \left[\frac{1}{x_{max}-1} \left(x_{max} - \frac{I_{об}}{\sum_{j=1}^m n_j N_j} \right) \right]^{t/T}, \quad (2.4)$$

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 (таблица 2.3).

Таблица 2.2 – Форма таблицы для записи результатов расчета по рабочему месту (указать номер варианта задания)

Номер формулы	Значение r_t для различных t					
	1	5	10	15	20	25
2.1						
2.2						

Таблица 2.3 – 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 (2.1) и (2.2) учитываются все подобные факторы.

Большое значение имеет и формула (2.4), 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 формулы – (2.1) или (2.2) 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: Анализ влияния характеристик технологического процесса на его травмоопасность

Цель работы: формирование умений и навыков использования методик оценки рисков возникновения несчастных случаев в зависимости от характеристик технологических процессов

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить зависимости, 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 3.2.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Расчеты выполнить для варианта, указанного преподавателем. Исходные условия для каждого варианта приведены ниже в таблице 3.2.

Полученные результаты представить в таблице, форма которой приведена ниже (таблица 3.1). Число циклов реализации технологического процесса взять по своему варианту (колонка 8 в таблице 3.2). 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.

Таблица 3.1 – Форма таблицы для записи результатов расчета

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

Таблица 3.2 – 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

Под характеристиками технологического процесса, влияющими на его безопасность, понимаются четыре составляющие - появление травмоопасной ситуации, нахождение в опасной зоне, попадание травмирующего фактора, отказ средств защиты. Именно в результате пересечения во времени и пространстве этих четырех событий возникают несчастные случаи. 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

$$P_{ij}(D) = P_{1ij} \cdot P_{2ij} \cdot P_{3ij} \cdot P_{4ij}. \quad (3.1)$$

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

$$P_i(0) = 1 - \prod_{j=1}^{m_i} [1 - P_{ij}(D)], \quad (3.2)$$

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 $P_{\text{ц}}(\text{ТП})$ составит

$$P_{\text{ц}}(\text{ТП}) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(0)], \quad (3.3)$$

где n – число операций в технологическом процессе.

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

$$P_{\text{г}}(\text{ТП}) = 1 - [1 - P_{\text{ц}}(\text{ТП})]^N. \quad (3.4)$$

Приведенные выше формулы используются в расчетах по лабораторной работе. Исходные данные для этих расчетов приведены выше в таблице 3.2.

Если годовой риск $P_{\text{г}}(\text{ТП})$ 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 общего состояния техносферы в зависимости от значений формирующих факторов

Цель работы: формирование умений и навыков, позволяющих оценить общее состояние уровня безопасности техносферы при одновременном воздействии нескольких факторов

Задание по лабораторной работе

1) изучить существующие подходы в задачах оценки состояния техносферы при одновременном действии следующих факторов: повышенный шум, повышенный уровень вибрации (по виброускорению), пониженная освещенность, повышенная концентрация вредных веществ (аммиак) в воздухе рабочей зоны;

2) дать общую оценку состояния безопасности на рабочем месте;

3) построить таблицы и графики, характеризующие влияние фактических значений указанных выше факторов на уровень безопасности рабочего места;

4) варианты выполняемых заданий приведены ниже в таблице 4.1.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Уровень безопасности по i -му фактору можно оценить по формуле

$$S_i = 0,2(x_{max} - x_i), \quad (4.1)$$

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

$x_{max}=6$;

x_i – оценка уровня безопасности по шестибальной шкале, определяемая по следующим формулам:

для повышенного шума

$$x_{ш} = 2 \cdot 10^{0,1 \cdot k_{ш} \cdot (L_{ф} - L_{ПДУ})}, \quad (4.2)$$

для повышенной технологической вибрации (по виброускорению)

$$x_{в} = 2 \cdot 10^{0,05 \cdot k_{в} \cdot (L_{a_{факт}} - L_{a_{ПДУ}})}, \quad (4.3)$$

для пониженного освещения

$$x_{осв} = 2 \cdot (E_n / E_{ф})^{k_{осв}}, \quad (4.4)$$

для повышенной концентрации аммиака

$$x_{вр.в} = 2(C_{\phi}/C_{ПДК})^{k_{вр.в}}, \quad (4.5)$$

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

L_{ϕ} , $L_{a_{факт}}$, E_{ϕ} , C_{ϕ} – фактические значения уровня шума, уровня виброускорения, освещенности, концентрации вредных веществ соответственно – см. таблицу 4.1;

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

Общую оценку S уровня безопасности на рабочем месте определяют по формуле

$$S = \prod_{i=1}^n S_i, \quad (4.6)$$

где n – число учитываемых факторов, формирующих уровень безопасности на рабочем месте (в рабочей зоне).

Постройте график зависимости общей оценки S от текущих значений формирующих факторов. Для этого нужно использовать значения факторов, последовательно приближая их 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: $L_{\phi}=80$ дБА; $L_{a_{факт}}=105$ дБ; $E_{\phi}=180$ лк; $C_{\phi}=40$ мг/м³;

Шаг 2: $L_{\phi}=79$ дБА; $L_{a_{факт}}=104$ дБ; $E_{\phi}=185$ лк; $C_{\phi}=35$ мг/м³;

Шаг 3: $L_{\phi}=78$ дБА; $L_{a_{факт}}=103$ дБ; $E_{\phi}=190$ лк; $C_{\phi}=30$ мг/м³;

Шаг 4: $L_{\phi}=77$ дБА; $L_{a_{факт}}=102$ дБ; $E_{\phi}=195$ лк; $C_{\phi}=25$ мг/м³;

Шаг 5: $L_{\phi}=L_{ПДУ}=75$ дБА; $L_{a_{факт}}=L_{a_{ПДУ}}=100$ дБ; $E_{\phi}=E_n=200$ лк; $C_{\phi}=C_{ПДК}=20$ мг/м³.

Таблица 4.1 – Варианты заданий к лабораторной работе № 4

№ вариантов	Факторы условий труда							
	Шум, дБА		Вибрация, дБ		Освещенность, лк		Вредные вещества, мг/м ³	
	L_{ϕ}	$L_{\text{пду}}$	$L_{a\text{факт}}$	$L_{a\text{пду}}$	E_{ϕ}	$E_{\text{н}}$	C_{ϕ}	$C_{\text{пдк}}$
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 пяти точкам уже может быть построен график $S=f(S_i)$. При этом значения S откладываются по вертикали, а порядковые номера шагов улучшения условий безопасности – по горизонтальной оси.

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

Результаты расчетов значений S рекомендуется представить в форме следующей таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Пример заполнения результатов расчетов по формуле (4.6) значений S для второго варианта

Номер шага	Факторы условий безопасности								Расчетные значения S
	Шум		Вибрация		Освещенность		Вредные вещества		
	L_{ϕ}	$L_{ПДУ}$	$L_{a_{факт}}$	$L_{a_{ПДУ}}$	E_{ϕ}	$E_{н}$	C_{ϕ}	$C_{ПДК}$	
1	80	75	105	100	180	200	40	20	
2	79	75	104	100	185	200	35	20	
3	78	75	103	100	190	200	30	20	
4	77	75	102	100	195	200	35	20	
5	75	75	100	100	200	200	20	20	

Результаты промежуточных расчетов по формулам (4.2 - 4.5) представить в виде отдельной таблицы, форму которой примите согласно таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Форма записи результатов промежуточных расчетов

Номер шага	Наименование формирующих факторов безопасности								Значение S по формуле (4.6)
	Шум		Вибрация		Освещенность		Вредные вещества		
	Расчетные значения факторов								
	$X_{ш}$	S_i	X_v	S_i	$X_{осв}$	S_i	$X_{вр.в}$	S_i	
1	2,82	0,64	3,12	0,58	2,25	0,75	2,92	0,62	0,17
2									
3									
4									
5									

Примечание: приведенные в таблице значения получены для первого шага второго варианта задания в качестве примера заполнения таблицы.

Теоретический материал

Оценка уровня безопасности состояния техносферы имеет большое практическое значение. Соответствующим оценочным показателем является коэффициент безопасности. Если этот коэффициент близок к единице, то уровень безопасности может оцениваться как достаточно высокий. При значениях существенно ниже единицы, уровень безопасности состояния техносферы не соответствует установленным государственным требованиям и может быть вредным и опасным.

При проведении расчетов нужно учитывать, что общий уровень безопасности труда на рабочем месте является производным от состояния условий по всем формирующим факторам. Такую общую оценку позволяет получить формула (4.6).

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Какие учтенные формирующие факторы безопасности оказывают наиболее существенное влияние на общий уровень безопасности рабочего места?
2. Как рассчитывается общий уровень безопасности 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 и обеспечение процесса безопасного перемещения грузов

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

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить зависимости, 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 5.1.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Вес P , кН, канатной части многоветвевых грузовых стропов рекомендуется рассчитывать с использованием следующей формулы

$$P = n \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\left(k \frac{Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78 \right)}{13500}, \text{ кН} \quad (5.1)$$

где n – число ветвей грузового стропы;

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

α – угол между противоположными ветвями грузового стропы;

$k=6$ – запас прочности;

Q – вес поднимаемого груза, кН.

Выражение (5.1) получено в предположении, что для изготовления канатной части стропы используется стальной грузовой канат по ГОСТ 7665. Обработка данных из этого стандарта по методу наименьших квадратов приводит к следующим эмпирическим формулам

$$P_1 = (d - 6,48)/1000, \text{ кН}, \quad (5.2)$$

$$R = 13,5d - 86,7, \text{ кН}, \quad (5.3)$$

где d – диаметр каната, мм;

P_1 – вес 1 м каната, кН;

R – разрывное усилие каната в целом, кН.

Формулы (5.2) и (5.3) использованы в процессе формирования зависимости (5.1).

Грузовые стропы обычно снабжаются крюками. Зависимость (5.1) вес крюков не учитывает. Общий же вес $P_{\text{общ}}$ стропы, очевидно будет

$$P_{\text{общ}} = P + nP_k, \quad (5.4)$$

где P_k – вес одного крюка, кН.

Величина P_k может быть выражена в зависимости от общей допустимой нагрузки T на крюк, которая определяется с учетом натяжения S ветви стропа и коэффициентов динамичности k_d и перегрузки k_p . Эти коэффициенты при подборе крюков принимаются равными по 1,1. Т.е. имеем

$$T = S \cdot k_d \cdot k_p. \quad (5.5)$$

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

$$P_k = 0,517 \cdot T - 6,44, \text{ Н} \quad (5.6)$$

Используя формулу (5.5) и формулу

$$S = \frac{Q}{n} \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (5.7)$$

из выражения (5.6) получаем

$$P_k = \frac{0,517Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} k_d k_p - 6,44, \text{ кН}. \quad (5.8)$$

С учетом зависимости (5.1), а также (5.8), после подстановки их в выражение (5.4) получаем

$$P_{\text{общ}} = \frac{n\sqrt{A^2+B^2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{k \frac{Q}{n \cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78}{13500} + \left(\frac{0,517Q k_d k_p}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 6,44n \right) \cdot 10^{-3}, \text{ кН} \quad (5.9)$$

В ходе выполнения работы требуется сделать расчеты по зависимостям (5.1) и (5.9), принимая $n=4$; $k=6$; $k_d = k_p=1,1$. Значения Q , а также A , B принимаются согласно варианту, указываемому преподавателем по таблице 5.1. Расчеты выполнить для следующих углов α между противоположными ветвями грузового стропа: 40° , 60° , 90° , 120° , 150° . По результатам расчетов заполнить таблицу 5.2, форма которой приведена ниже, и построить зависимости веса канатной части грузового стропа, общего веса стропа и веса крюков от угла α . Все три зависимости построить на одном графике.

В отчете представить цель работы, зависимости (5.1) и (5.9) с расшифровкой обозначений, таблицу с результатами расчетов, зависимости $P=f(\alpha)$, $P_{\text{общ}}=f(\alpha)$, $P_k=f(\alpha)$, выводы и предложения.

Таблица 5.1 – 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 5.2 – Форма таблицы для записи результатов расчетов

Угол α между противоположными ветвями стропов	Вес P, кН, канатной части грузового стропы	Общий вес $P_{\text{общ}}$, кН, стропы	Вес P_k 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 (5.9) следует, что общий вес рассматриваемых приспособлений зависит также от угла α между противоположными ветвями канатной части грузового стропы. 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 α на вес канатной части грузового стропы, вес крюков и общий вес этого приспособления для подъема грузов?
2. При каком угле α общий вес стропы оказывается минимальным?
3. Почему важно знать оптимальный угол α , при котором строп имеет минимальный вес и в то же время обеспечивает безопасный подъем и перемещение груза?

4. Каким образом, используя зависимость (5.9), можно аналитическим путем определить угол α , при котором грузовой строп будет иметь минимальный общий вес?
5. Как изменяется доля веса крюков в общем весе грузового стропа в зависимости от угла α ?

Лабораторная работа № 6

Тема: Исследование развития эпидемиологической ситуации в населенном пункте

Цель работы: формирование умений и навыков построения и исследования простейших зависимостей развития чрезвычайных ситуаций.

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить простейшую зависимость, отражающую развитие одной из возможных чрезвычайных ситуаций – эпидемии;
- 2) построить таблицы и графики, отражающие развитие эпидемии в зависимости от исходных величин;
- 3) варианты заданий по лабораторной работе приведены ниже в таблице 6.1.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Выпишите необходимые формулы. Число заболевших $x(t)$ необходимо определять по следующему выражению

$$x(t) = \frac{N+1}{Ne^{-k(N+1)t} + 1}, \quad (6.1)$$

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

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{(N+1)^3 k^2 N [N \cdot e^{-2k(N+1)t} - e^{-k(N+1)t}]}{(N \cdot e^{-k(N+1)t} + 1)^3}. \quad (6.2)$$

Результаты расчетов по выражениям (6.1) и (6.2) необходимо выполнить в соответствии с вариантом задания, которое указывает преподаватель (см. таблицу 6.1).

Таблица 6.1 – Варианты заданий для лабораторной работы № 6

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 (6.1) и (6.2) представить в форме следующей таблицы 6.2.

Таблица 6.2 – 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

$$t = \frac{\ln N}{k(N+1)}, \quad (6.3)$$

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 зависимость 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 формула 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?

Лабораторная работа № 7

Тема: Сравнительный анализ аварийности и травматизма в регионах и на объектах

Цель работы: освоение практического применения статистического метода проверки гипотез

Задания по лабораторной работе

- 1) освоить применение статистического метода проверки гипотез;
- 2) проверить значимость различий выборочных средних значений частоты профессионально обусловленной заболеваемости на разных предприятиях и выборочных средних числа аварий на опасных производственных объектах (ОПО) в разных регионах.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Работа выполняется по варианту, указываемому преподавателем – см. таблицу 7.1. Для подготовки к выполнению работы изучите теоретический материал, приведенный ниже в тексте данной лабораторной работы. В Приложении приведены справочные таблицы 1 и 2 для определения критических точек F-критерия и t-распределения Стьюдента, используемых при проверке гипотез.

В отчете по лабораторной работе необходимо привести номер, название, цель работы, исходные данные по своему варианту, результаты разработки исходных данных в форме таблицы 7.2, пояснения по выбору критических точек, выводы в отношении принятой гипотезы.

Таблица 7.1 – Варианты исходных данных

Варианты	Предприятие, регион	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Число наблюдений
(по частоте профессионально обусловленной заболеваемости)											
1	первое	13,5	15,0	15,5	15,0	13,0	13,9	13,0	-	-	7
	второе	17,7	17,8	16,9	17,3	16,2	15,5	-	-	-	6
2	первое	12,6	14,9	15,4	15,0	13,1	13,8	12,9	13,0	14,0	9
	второе	17,8	17,9	17,1	18,1	17,3	15,9	16,4	17,0	18,0	9
3	первое	13,1	15,2	15,4	14,9	13,4	14,1	13,8	14,8	-	8
	второе	15,4	16,6	14,9	15,1	14,8	14,0	16,1	14,2	-	8
4	первое	14,1	15,2	14,4	15,0	13,1	12,1	12,4	12,9	13,4	9
	второе	17,4	15,8	15,1	16,9	14,1	12,9	13,1	14,1	-	8
5	первое	10,8	13,4	10,9	14,9	13,1	11,4	12,8	11,9	-	8
	второе	9,9	10,4	11,2	10,8	12,8	10,4	11,3	10,6	11,1	9

Вариан- ты	Предприя- тие, регион	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Число наблю- дений
(по числу аварий на ОПО)											
6	первый	10	9	8	11	12	10	8	9	-	8
	второй	11	12	10	14	15	12	9	11	9	8
7	первый	-	-	9	10	13	11	9	10	9	7
	второй	-	14	12	11	13	10	12	11	9	8
8	первый	9	11	9	13	10	14	12	8	11	9
	второй	14	10	11	12	9	13	14	9	12	9
9	первый	15	9	11	14	10	12	14	13	-	8
	второй	17	12	15	13	11	12	13	-	-	7
10	первый	-	6	12	11	13	7	9	12	11	8
	второй	-	9	11	10	14	9	11	13	12	8

Таблица 7.2 – Форма для записи результатов обработки исходных данных

Годы	Первое предприятие или регион			Второе предприятие или регион		
	x_{i1}	$(x_{i1} - \bar{x}_1)$	$(x_{i1} - \bar{x}_1)^2$	x_{i2}	$(x_{i2} - \bar{x}_2)$	$(x_{i2} - \bar{x}_2)^2$
2015						
2016						
2017						
2018						
2019						
2020						
2021						
2022						
2023						
-	$n_1 =$ $\bar{x}_1 =$	-	$S_1^2 =$	$n_2 =$ $\bar{x}_2 =$	-	$S_2^2 =$

Примечание: x_i – исходные данные, $\bar{x}_i$ – среднее значение исходных данных, n_1 и n_2 – число наблюдений соответственно на первом и втором предприятиях (в регионах), S – дисперсия.

Теоретический материал

Статистические методы проверки гипотез находят применение в техно-сферной безопасности. Различают два вида гипотез:

- нулевая (основная), обозначаемая H_0
- конкурирующая (альтернативная), противоречащая основной и обозначаемая H_1 .

Например, нулевая гипотеза может заключаться в равенстве математических ожиданий частоты профессионально обусловленных заболеваний работников на разных предприятиях или в равенстве числа аварий на ОПО в разных регионах.

Выдвигаемые гипотезы могут быть правильными или неправильными. Поэтому и возникает необходимость их проверки. При этом могут быть допущены два рода ошибок:

- ошибка первого рода, состоящая в том, что будет опровергнута правильная гипотеза;
- ошибка второго рода, заключающаяся в принятии неправильной гипотезы.

Вероятность совершения ошибки первого рода обозначают α и называют уровнем значимости. В исследованиях его принимают равным 0,05 или 0,01. Если принять $\alpha = 0,05$, то в пяти ситуациях из ста может быть принято ошибочное решение – отвергнуть правильную гипотезу.

Статистические методы проверки гипотез достаточно часто применяют при необходимости сравнения средних значений величин по выборкам малого объема (менее 30 наблюдений). При этом генеральные дисперсии сравниваемых величин неизвестны.

Поэтому на первом этапе нужно проверить гипотезу о равенстве генеральных дисперсий. Для этого по имеющимся значениям малой выборки вычисляют исправленные выборочные дисперсии S_1^2 и S_2^2 сравниваемых величин по формуле

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n - 1, \quad (7.1)$$

где n – объем выборки;

x_i – наблюдаемые значения сравниваемых величин;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение.

После этого находят F-отношение, то есть, отношение большей S_6^2 исправленной выборочной дисперсии к меньшей S_M^2 :

$$F = S_6^2 / S_M^2. \quad (7.2)$$

Полученное F-отношение (F_H) сравнивают с критической точкой F-отношения ($F_{кр}$), которую находят по таблице 1 Приложения. Если $F_H < F_{кр}$, то нулевая гипотеза о равенстве исправленных выборочных дисперсий принимается и делается вывод о равенстве генеральных дисперсий сравниваемых величин.

В этом случае для установления значимости различий выборочных средних значений сравниваемых величин вычисляют Т-критерий (T_H) по формуле

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}. \quad (7.3)$$

Полученное значение T_n сравнивают со значением критической точки $T_{кр}$, которую определяют по таблице 2 Приложения. Если $T_n < T_{кр}$, то справедлива нулевая гипотеза о равенстве, то есть, отсутствии значимых различий в средних значениях сравниваемых величин. Если $T_n > T_{кр}$, то нулевая гипотеза отвергается и принимается конкурирующая, заключающаяся в наличии значимых различий сравниваемых величин.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. В каких ситуациях, для исследования каких вопросов целесообразно использовать аппарат статистической проверки гипотез?
2. Что обычно понимается под гипотезой?
3. Укажите возможные два вида гипотез.
4. Что понимается под ошибкой первого рода?
5. К каким последствиям может приводить ошибка второго рода при проверке гипотез?
6. Какие математические процедуры должны быть выполнены для проверки значимости различий в средних значениях сравниваемых величин?
7. Как определяется F-отношение?
8. При каком числе наблюдений полученная выборка считается малой?
9. Как находятся критические точки T- критерия?

Лабораторная работа № 8

Тема: Применение метода экспертных оценок для исследования проблемных задач в техносферной безопасности

Цель работы: формирование умений и навыков, позволяющих использовать метод экспертных оценок для исследования отдельных проблем техносферной безопасности

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить одну из модификаций метода экспертных оценок;
- 2) составить перечень проблемных задач, для решения которых может использоваться метод экспертных оценок;
- 3) сформулировать конкретную задачу, определить для нее исходные данные и провести ее рассмотрение с использованием метода экспертных оценок;
- 4) сформировать группу экспертов из числа студентов, собрать их мнения (предложения) о путях решения задачи с оформлением на опросном листе (см. таблицу 8.1);
- 5) выполнить необходимые вычисления и изложить результаты исследования.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Прежде всего, студенты выбирают проблемную задачу. Рекомендуется ориентироваться на следующий их примерный перечень:

1. Обеспечение полноты учета всех несчастных случаев.

Рассмотреть предложения:

А. Увеличение штрафов за сокрытие несчастных случаев.

Б. Проведение разъяснительной работы с работодателями.

В. Проведение разъяснительной работы с работниками организаций.

Г. Повышение ответственности специалистов по охране труда.

Д. Упрощение получения выплат из средств Социального фонда России при несчастных случаях.

Е. Упрощение порядка расследования несчастных случаев.

2. Обоснование наиболее значимых направлений снижения дорожного травматизма.

Рассмотреть предложения:

А. Увеличение штрафов.

Б. Снижение допустимого срока эксплуатации автомобилей.

В. Снижение возраста водителей, допускаемых к управлению автомобилями.

Г. Увеличение числа запрещающих и предписывающих дорожных знаков.

Д. Совершенствование дорог, улучшение состояния дорожной сети.

3. Повышение эффективности обучения студентов по направлению «Техносферная безопасность».

Рассмотреть предложения:

А. Обязательность посещения занятий.

Б. Установление дополнительных требований к студентам, пропустившим занятия без уважительных причин.

В. Ограничение числа попыток для сдачи экзамена при пропуске более 25% занятий.

Г. Ограничение участия во внеучебных мероприятиях всех видов.

Д. Сообщение родителям о нарушении студентом учебной дисциплины.

Принятая к исследованию задача согласовывается с преподавателем.

После выбора задачи студент в ходе подготовки к работе составляет необходимое число опросных листов (не менее 10), которое должно соответствовать числу студентов в подгруппе.

В опросном листе указывается название задачи, под ним размещается форма следующего вида (таблица 8.1):

Таблица 8.1 – Форма опросного листа

Буквенный код	Наименование предложения	Присвоенный ранг

Ранги – это числа натурального ряда от 1 до n , где n – число рассматриваемых предложений (в задаче 1 их 6, в задачах 2 и 3 их по 5).

На опросном листе нужно указать, что число 1 присваивается наиболее значимому по мнению эксперта предложению, а число n – наименее значимому. Одинаковые ранги предложениям не присваиваются.

После получения заполненных опросных листов студент готовит таблицу 8.2, в которую заносятся данные из опросных листов. По этим данным рассчитывают коэффициент конкордации и определяют наличие согласованности мнений экспертов – см. подраздел «Теоретический материал».

В отчете по лабораторной работе необходимо привести название, цель работы, теоретический материал (кратко), заполненную таблицу 8.2, формулы с расшифровками обозначений, результаты расчетов, наличие или отсутствие согласованности мнений экспертов, выводы и предложения.

Теоретический материал

Решение многих задач техносферной безопасности зависит от факторов, которые не могут быть определены с помощью каких-либо формул или путем измерений. Для решения такого рода задач могут быть привлечены специалисты. Для них должны быть подготовлены специальные опросные листы с изложением в них перечня предложений, которые могут быть рассмотрены с целью решения исследуемой задачи. Эксперты каждому предложению присваивают ранг – числа от 1 до n , где n – число рассматриваемых предложений. Тот предложение или несколько предложений, которые получили наименьшую сумму рангов, считаются наиболее важными для решения задачи. Полученная от экспертов информация заносится в таблицу – см. таблицу 8.2. Наиболее надежные результаты исследования могут быть получены при числе рассматриваемых предложений по конкретной задаче менее 10. При этом число экспертов не ограничивается. Важно, чтобы они были действительно экспертами, имели опыт работы, знания по исследуемой задаче.

Результаты экспертного исследования могут использоваться для практических выводов только при наличии согласованности мнений экспертов. Степень согласованности определяется путем расчета коэффициента конкордации W по формуле

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (8.1)$$

где S – сумма квадратов отклонений;
 m – число привлеченных экспертов;
 n – число рассматриваемых предложений (факторов).

Таблица 8.2 – Форма таблицы для записи и обработки результатов экспертного исследования

Эксперты	Оцениваемые предложения					
	А x_1	Б x_2	В x_3	Г x_4	Д x_5	Е x_6
	Ранги					
№ 1						
№ 2						
№ 3						
№ 4						
№ 5						
№ 6						
№ 7						
№ 8						
№ 9						
№ 10						
Сумма рангов $\sum_{j=1}^m x_{ij}$						

Примечание: 1. Для удобства последующей обработки оцениваемые предложения обозначены также через x_i (i – номер предложения).

2. Для исключения осложнения расчетов эксперты не должны присваивать одинаковые ранги рассматриваемым предложениям.

Сумма квадратов отклонения рассчитывается по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right)^2, \quad (8.2)$$

где x_{ij} – ранг, присвоенный i -му фактору j -м экспертом.

Суммы $\sum_{j=1}^m x_{ij}$ берутся из таблицы 8.2.

Достаточность или недостаточность согласованности мнений экспертов при числе оцениваемых предложений $n \leq 7$ проверяют по неравенству $W \geq W_{кр}(m, n)$, где $W_{кр}(m, n)$ – критические значения коэффициента конкордации, определяемые по специальной таблице в зависимости от числа экспертов m и числа рассматриваемых предложений (факторов) n – см. таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Критические значения коэффициента конкордации $W_{кр}(m, n)$ при уровне значимости 0,05

Число экспертов, m	Число рассматриваемых предложений (факторов), n				
	3	4	5	6	7
3	0,89	0,81	0,72	0,66	0,62
4	0,83	0,62	0,55	0,51	0,49
5	0,63	0,59	0,45	0,42	0,40
6	0,57	0,42	0,38	0,35	0,33
8	0,38	0,32	0,29	0,27	0,25
10	0,30	0,26	0,23	0,22	0,20
16	0,20	0,17	0,16	0,15	0,14

Если расчетное значение $W \geq W_{кр}$, то мнения экспертов достаточно согласованы и предложения, получившие наименьшую сумму рангов можно использовать для решения проблемной задачи.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Для решения каких конкретно задач можно использовать метод экспертных оценок?
2. Как ограничивается число предложений, предъявляемых экспертам для оценок?
3. От чего зависит критическое значение коэффициента конкордации?
4. Каковы общие требования к лицам, привлекаемых в качестве экспертов при проведении экспертного исследования?

Лабораторная работа № 9

Тема: Изучение и применение метода аппроксимации в геометрическом (полиномиальном) программировании при решении задач техносферной безопасности

Цель работы: формирование умений и навыков применения методов аппроксимации при решении задач техносферной безопасности с использованием геометрического программирования

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить содержание метода аппроксимации;
- 2) изучить условия, при которых целесообразно использование методов аппроксимации;
- 3) выполнить аппроксимацию какого-либо одного из алгебраических выражений, приведенных ниже и указанных преподавателем;
- 4) оценить возможные отклонения при использовании аппроксимирующих выражений.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Для решения конкретных задач техносферы часто требуется применение геометрического программирования, например, проектирование атомных электростанций (а именно, размеров и числа замедляющих стержней в активной зоне атомных реакторов), проектирование фундаментов строительных сооружений, проектирование технологий промышленного рыболовства с учетом требований безопасности и т.д.

Прежде всего, необходимо изучить методику геометрического программирования и метод аппроксимации, разработанный в геометрическом программировании. Необходимость этого метода возникла в связи с тем, что математические модели задач, решаемых с помощью геометрического программирования, могут не иметь форму положительного полинома (например, $y = a_1x_1^{0,5}x_2^3 + a_2x_2^{-1}x_3^2$), а включить логарифмические или тригонометрические функции. И возникает необходимость их приведения к виду положительных полиномов.

Кроме того, применение метода аппроксимации возможно, только если установлены пределы изменения управляемых переменных, например, 0,15 – 0,75. В последующих расчетах (см. Теоретический материал) используется среднее геометрическое значение (базисная точка) этих величин, то есть, получим $\sqrt{0,15 \cdot 0,75} = 0,335$. Студентам рекомендуется использовать те пределы изменения значений переменных, которые указаны для каждого из приведенных ниже выражений:

- 1) $f(x) = 1 - \frac{0,294}{x}$; интервал изменения значения x : $x = (0,6 - 1,4)$.
- 2) $f(x_1, x_2) = x_1 - 0,026\sqrt{x_2}$; интервалы изменения: $x_1 = (30 - 105)$; $x_2 = (225 - 900)$.
- 3) $f(x_1, x_2) = x_1^{1,5} + 0,1x_2^2$; интервалы изменения: $x_1 = (25 - 85)$; $x_2 = (4,5 - 18,2)$.
- 4) $f(x_1, x_2) = x_1 + 0,25x_2$; интервалы изменения: $x_1 = (3,5 - 8,5)$; $x_2 = (19 - 59)$.
- 5) $f(x_1, x_2) = 0,27x^3 + 0,906x^2$; интервал изменения значения x : $x = (0,342 - 0,707)$.

В приведенных выражениях x_1, x_2, x_3 – управляемые переменные решаемой задачи.

После получения аппроксимирующего выражения необходимо подставить в него какое-либо из значений управляемых переменных. Такое же значение подставляется в первоначальное выражение. Отклонение Δ полученного расчетного значения по аппроксимизирующему выражению оценивается в процентах по отношению к первоначальному выражению:

$$\Delta = \frac{|x_a - x_n|}{x_n} \cdot 100 (\%), \quad (9.1)$$

где x_a - расчетное значение из аппроксимирующего выражения;
 x_n - расчетное значение из первоначального выражения.

Теоретический материал

Если имеется некоторая функция $f(\vec{x})$, не являющаяся полиномом или состоящая из нескольких членов, то соответствующий ей одночленный положительный полином (позином) может быть получен в виде

$$f(\vec{x}) \cong f(\vec{x}^*) \left(\frac{x_1}{x_1^*}\right)^{a_1} \left(\frac{x_2}{x_2^*}\right)^{a_2} \dots \left(\frac{x_m}{x_m^*}\right)^{a_m}, \quad (9.2)$$

где $a_1, a_2, \dots, a_m$ – показатели степеней, определяемые по формуле

$$a_j = \left(\frac{x_j^*}{f(x_1^*, x_2^*)}\right) \left(\frac{df}{dx_j}\right)_{x=x^*}. \quad (9.3)$$

В формулах (9.2), (9.3) вектор $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ представляет собой геометрическое среднее концов интервала изменения каждого переменного x_j и называется исходной точкой.

Рассмотрим следующий пример

$$f(x_1, x_2) = 2x_1 - 0,5x_2^2. \quad (9.4)$$

Пусть интервал изменения переменного $x_1 = (3 - 6)$. а $x_2 = (1 - 4)$. Тогда геометрическое среднее (базисные точки) будут по $x_1^* = \sqrt{3 \cdot 6} = 4,24$; по $x_2^* = \sqrt{1 \cdot 4} = 2$.

Искомое аппроксимирующее выражение будет иметь вид

$$f(\vec{x}) \cong f(x_1^*, x_2^*) \left(\frac{x_1}{x_1^*}\right)^{a_1} \left(\frac{x_2}{x_2^*}\right)^{a_2}. \quad (9.5)$$

Базисные точки x_1^* и x_2^* подставим в (9.4). Получим

$$f(x_1^*, x_2^*) = 2 \cdot 4,24 - 0,5 \cdot (2)^2 = 6,48.$$

Показатели степеней определим по формуле (9.3). Для определения a_1 необходимо продифференцировать выражение (9.4) по x_1 . Получим $\frac{df}{dx_1} = 2$. Находим по формуле (9.3)

$$a_1 = \frac{4,24}{6,48} \cdot 2 = 1,31.$$

Для определения a_2 продифференцируем выражение (9.4) по x_2 . Получим $\frac{df}{dx_2} = -x_2$. Находим по формуле (9.3), используя базисные точки

$$a_2 = \frac{2}{6,48} \cdot (-2) = -0,62.$$

Обращаясь к выражению (9.5), находим

$$f(x_1, x_2)_{\text{аппр}} = 6,48 \left(\frac{x_1}{4,24} \right)^{1,31} \left(\frac{x_2}{2} \right)^{-0,62}. \quad (9.6)$$

Из (9.6) после вычислений получим

$$f(x_1, x_2)_{\text{аппр}} = 1,50 x_1^{1,31} \cdot x_2^{-0,62}. \quad (9.7)$$

Сравним значения $f(x_1, x_2)$ для $x_1 = 5$ и $x_2 = 3$ по первоначальному исходному выражению (9.4) и по выражению (9.7). Из выражения (9.4) следует

$$f(x_1, x_2) = 2 \cdot 5 - 0,5 \cdot (3)^2 = 5,5.$$

Из аппроксимизированного выражения (9.7) находим

$$f(x_1, x_2)_{\text{аппр}} = 1,50 \cdot 5^{1,31} \cdot 3^{-0,62} = 6,23.$$

По формуле (9.1) определим величину отклонения. Имеем

$$\Delta = \frac{|6,23 - 5,5|}{5,5} \cdot 100 = 13,3 \ (%).$$

Отклонение 13,3 % может оцениваться как существенное. Однако нужно учесть, что расчет сделан для значений $x_1 = 5$ и $x_2 = 3$ достаточно удаленных от базисных точек для этих переменных.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. В каких случаях необходимо использовать методы аппроксимации?
2. Как определяется базисная точка управляемых переменных задачи?

3. Какое значение функции $f(x_1, x_2)_{\text{appr}}$ получим, если в расчете по формуле (9.6) используем значения базисных точек?

4. Можно ли утверждать, что применение метода аппроксимации расширяет возможности использования метода геометрического программирования, в том числе и для решения задач техносферной безопасности?

Лабораторная работа № 10

Тема: Оценка уровня управляемости процессов в области техносферной безопасности

Цель работы: освоение порядка построения статистической контрольной карты (СКК) и формулировки выводов по полученной СКК

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить порядок построения СКК;
- 2) выполнить необходимые расчеты и построить СКК по показателю – коэффициент частоты несчастных случаев;
- 3) подготовить отчет по выполненной работе с включением в него цели работы, полученной СКК, использованных формул и выводов в отношении эффективности системы управления охраной труда (СУОТ).

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Выпишите формулу для расчета среднего квадратического отклонения, по данным для указанного преподавателем варианта, выберете исходные данные для расчета – см. таблицу 10.1. Примите доверительную вероятность 0,95. Заполните таблицу, которую используют при расчете среднего квадратического отклонения (см. таблицу 7.2). Формула для расчета среднего квадратического отклонения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (10.1)$$

где n – количество членов выборки;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое (или выборочное среднее) значение;

x_i – значения варьирующего признака.

Постройте СКК, по вертикали откладывая значения K_q , по горизонтали – годы. На СКК проведите линию, соответствующую среднему арифметическому значению $\bar{K}_q$, а также линии, обозначающие верхнее K_q^B и нижнее предельные значения K_q^H в соответствии с результатами расчетов. Проведите линии, соединяющие значения K_q на СКК. В отчете нужно провести анализ полученной СКК, сделать выводы в соответствии с изложенным ниже теоретическим материалом.

Таблица 10.1 – Варианты условных исходных данных по коэффициенту частоты несчастных случаев K_q по годам анализируемого периода

Варианты	Годы									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	-	4,0	6,2	5,0	4,1	5,4	3,9	6,9	5,5	3,7
2	7,6	7,1	8,3	4,1	6,9	6,1	10,4	5,1	4,0	5,2
3	9,1	8,7	7,3	12,4	11,8	12,1	4,1	15,8	6,9	-
4	2,1	4,4	3,9	3,1	1,8	9,2	4,2	7,9	1,9	1,4
5	4,9	5,1	5,0	6,5	7,8	4,7	3,9	9,8	4,2	8,7
6	1,9	4,4	5,9	5,2	10,4	3,8	9,9	5,4	4,1	2,8
7	5,4	1,8	6,4	1,2	7,4	6,1	1,1	4,8	5,9	5,8
8	-	2,1	1,8	1,7	3,2	3,1	2,9	2,2	4,1	1,4
9	4,8	2,2	3,4	1,0	5,3	5,0	4,9	2,1	1,9	1,5
10	8,2	6,1	7,3	4,9	6,9	5,8	5,1	12,1	9,4	6,2

Теоретический материал

СКК – важный наглядный графический инструмент, характеризующий наличие или отсутствие управляемости в состоянии охраны труда в организации. Если анализируемый показатель в течении рассматриваемого периода времени не выходит за верхнюю предельную границу, то это подтверждает наличие управляемости. Нужно относиться с повышенным вниманием и к ситуации, когда этот показатель существенно снизился и получил значение ниже предельного нижнего значения. Снижение может быть получено и за счет неполного расследования и учета происшедших несчастных случаев.

СКК не указывает причины, по которым произошли изменения значения анализируемого показателя. Однако становится известен год, когда это произошло. Соответствующее дополнительное изучение, как правило, позволяет установить причины изменений.

Важно также отметить, что если изменения по своим значениям находятся в пределах между расчетными верхним и нижним предельными значениями, то они должны оцениваться как обычные изменения случайной величины. Нет оснований для каких-либо выводов и положительных, и отрицательных в отношении управления.

Для расчета K_q^B и K_q^H могут быть использованы формулы:

$$K_q^B = \bar{K}_q + t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (10.2)$$

$$K_q^H = \bar{K}_q - t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (10.3)$$

$$\bar{K}_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{q_i}, \quad (10.4)$$

где t – параметр t-распределения Стьюдента, определяется по таблице 3, приведенной в Приложении;

S – среднее квадратическое отклонение;

n – число лет в анализируемом периоде.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Как определяется коэффициент частоты несчастных случаев, каково его смысловое значение?
2. Какие выводы могут быть сделаны на основе СКК?
3. На что указывает выход анализируемого показателя за верхний предельный уровень?
4. По каким показателям техносферной безопасности может быть построена СКК?
5. Как определяется параметр t распределения Стьюдента при расчетах СКК?
6. В каких осях строится СКК?
7. В каких других областях, кроме техносферной безопасности, используется метод СКК?

Лабораторная работа № 11

Тема: Исследование математической модели задачи обоснования направлений снижения масштаба профессионального риска в организациях

Цель работы: формирование умений и навыков определения оптимальных направлений снижения масштаба профессионального риска в организациях

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить понятие дозы воздействия опасных и вредных факторов как произведение масштаба риска на продолжительность воздействия;
- 2) изучить порядок обеспечения максимального снижения дозы воздействия опасных и вредных факторов;
- 3) изучить исходную информацию, необходимую для разработки оптимального плана снижения масштаба риска.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Снижения масштаба профессионального риска должно обеспечивать минимальное значение дозы воздействия опасных и вредных факторов. Именно полученная доза определяет повреждающую способность среды. Таким образом, возникает следующая задача:

$$\begin{aligned} & \text{минимизировать} \\ & D = (\sum_{i=1}^m x_i N_i) \cdot T \\ & \text{при ограничениях} \\ & 1) \sum_{i=1}^m W_i \leq W_{\text{общ}} \\ & 2) W_i \leq W_{n_i}, \end{aligned} \tag{A}$$

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 фактора;

W_i – затраты на устранение i -го фактора;

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

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

Исследования показывают, что максимальное снижение дозы D обеспечивается соблюдением оптимальной последовательности реализации необходимых управляющих воздействий, которая устанавливается по величине коэффициента E_i социально-экономической эффективности

$$E_i = (x_{n_i} - x_{п_i}) \cdot N_i / W_{п_i}, \quad (11.1)$$

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 воздействия (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 среды, а баллом $x_i=6$ характеризуются критические условия (особо опасные и вредные).

Баллы риска x_i определяются по данным измерений факторов среды, которые используются в психофизических формулах. Могут быть использованы и результаты специальной оценки условий труда.

Из изложенного уже следует, что для выполнения работы должны быть собраны данные по значениям x_{n_i} , $x_{п_i}$, N_i , $W_{п_i}$, $W_{\text{общ}}$. Поскольку сбор этих данных достаточно сложен, так как требует обращения к предприятиям, то в лабораторной работе рекомендуется использовать данные из приведенной ниже таблицы 11.1.

В ходе выполнения лабораторной работы студенты заполняют самостоятельно колонки 4, 7 и 9 указанной таблицы 11.1, проставляют в последней строке суммы (колонки 4, 7, 8).

Таблица 11.1 - Таблица исходных данных к лабораторной работе № 11

Порядковый номер и наименование идентифицированных ОВПФ	Начальный балл риска $x_{нi}$	Число работников N_i , на которых распространяется действие i-го фактора	Оценка масштаба риска R_n на начало периода планирования по каждому фактору $R_{нi} = x_{нi} \cdot N_i$	№ и наименование необходимых мероприятий	Планируемый балл риска $x_{пi}$	Оценка остаточного риска по каждому фактору $R_{остi} = x_{пi} \cdot N_i$	Планируемые затраты по смете на выполнение необходимых мероприятий $W_{пi}$, тыс. руб.	Показатель E_i , вычисляется по формуле (11.1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Повышенная загазованность	4	9		1. Вытяжная вентиляция	2		45,0	
2. Повышенная травмоопасность	5	4		2. Восстановление блокировочных устройств	2		50,0	
3. Повышенная запыленность в цехе № 1	3	18		3. Устройство общей вытяжной вентиляции	2		80,0	
4. Повышенная вибрация	3	23		4. Применение средств виброизоляции	1		160,0	

Окончание таблицы 11.1

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 территории	4	18		6. Реконструкция системы наружного освещения	1		90,0	
7. Несоответствие подъездных путей	3	38		7. Реконструкция подъездных путей	1		100,0	
8. Недостаточная защищенность роботизированного технологического комплекса	3	8		8. Восстановление системы, реагирующей на присутствие	1		115,0	
9. Пониженная температура	4	17		9. Применение укрытий с подводом тепла	2		140,0	
Суммы	-	-	$R_{\text{н}} = \dots$	-	-	$R_{\text{ост}} = \dots$		-

После этого заполняется таблица 11.2. Первая колонка этой таблицы заполняется по показателю E_i в таблице 11.1: мероприятия с большим E_i выполняются в первоочередном порядке, т.е. все мероприятия записываются в последовательности по мере уменьшения E_i .

Колонка 2 в таблицы 11.2 заполняется путем добавления к предыдущей стоимости мероприятий стоимости следующего.

В колонке 3 таблицы 11.2 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 финансирования на первый квартал, то получим перечень мероприятий на этот квартал. Последующие мероприятия перейдут на второй и последующий кварталы.

Таблица 11.2

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

Объемы общего финансирования на год, учитываемого при разработке программы, указывает преподаватель, исходя из следующих вариантов (тыс. руб.): 650, 700, 750, 800. Финансирование по кварталам студенты определяют путем деления общего финансирования на 4 с округлением до целых значений.

По итогам расчетов необходимо построить график снижения масштаба профессионального риска по кварталам года по форме, приведенной на рисунке 11.1, (используются данные колонки 6 в таблицы 13) и рассчитать остаточную дозу $D_{ост}$ воздействия ОВПФ для своего варианта по формуле

$$D_{ост} = \sum_{i=0}^4 \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \cdot 3, \quad (11.2)$$

где 4 – число кварталов в году;

3 – число месяцев в одном квартале;

R_i – остаточный риск в начале квартала, ед.;

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

Для первого квартала ($R_i = R_H$) соответствующее значение берется из колонки 4 таблицы 11.1 (R_H).

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

$$D_0 = R_n \cdot 12, \quad (11.3)$$

где 12 – число месяцев в году.

Необходимо также рассчитать относительное снижение дозы воздействия ОВПФ ΔD по выражению

$$\Delta D = \frac{(D_0 - D_{\text{ост}})}{D_0} \cdot 100\%. \quad (11.4)$$

В отчете по лабораторной работе нужно привести цель работы, математическую формулировку задачи, все формулы с расшифровкой обозначений, заполненные таблицы 11.1 и 11.2, график снижения масштаба профессионального риска по кварталам года, расчеты значений $D_{\text{ост}}$ и ΔD , выводы и предложения по работе.

На рисунке 11.1 предусмотрены две горизонтальных оси: верхняя – ось затрат, нижняя – ось времени (кварталы). При построении нужно использовать один и тот же масштаб для обеих осей: тыс. руб./мм, например, 6,5 тыс. руб./мм. Если на квартал выделено 150 тыс. руб., то границы кварталов на оси времени откладываются через $150/6,5 = 23$ мм. Это позволяет снять с графика значения R_i и R_{i+1} для расчета остаточной дозы по формуле (11.2), используя штриховые линии. Эти значения могут быть получены и из колонки 6 в таблице 11.2.

Теоретический материал

В реальных условиях в техносфере может быть выявлен ряд неблагоприятных факторов. Поэтому возникает задача снижения масштаба профессиональных рисков по выявленным опасным и вредным факторам. Задача решается путем составления математической модели, в качестве критерия эффективности в которой используется доза воздействия. Исследование должно указать оптимальные направления снижения масштаба риска, необходимые для этого мероприятия и сроки их реализации с учетом имеющихся ограничений по финансированию. Отступление от полученной таким образом программы ведет к увеличению дозы воздействия указанных факторов и соответственно может возрасти число различных отклонений в состоянии здоровья работников.

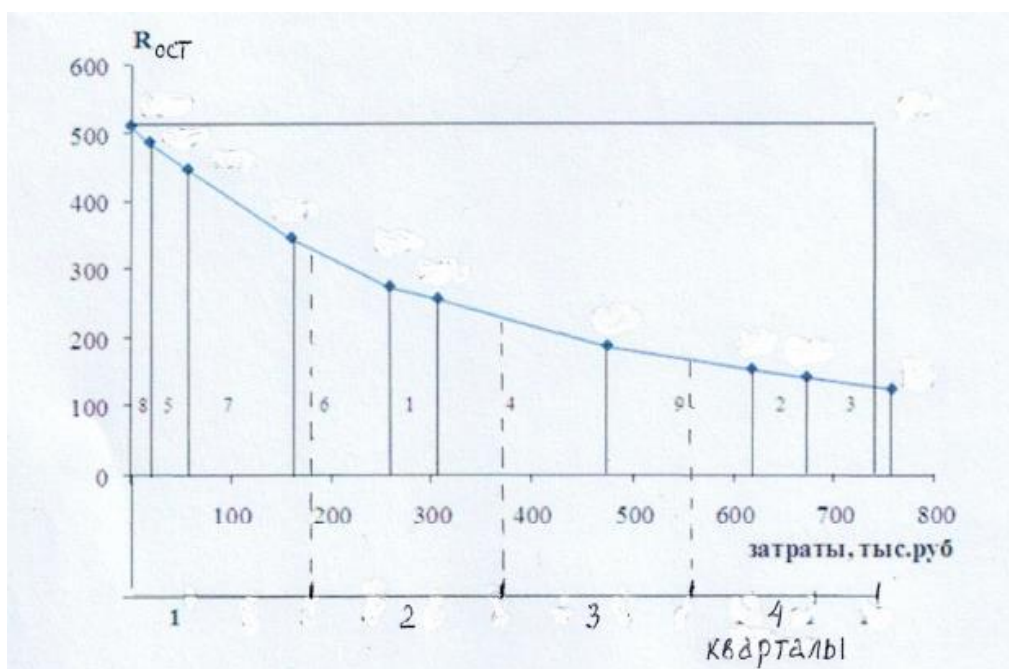


Рисунок 11.1 – Изменение общего масштаба остаточного риска $R_{ост}$ по кварталам года при оптимальной последовательности реализации профилактических мероприятий

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Как определяется доза воздействия опасных и вредных факторов?
2. Какой смысл имеют ограничения в задаче А?
3. Как определяется остаточная доза воздействия опасных и вредных факторов?
4. Как рассчитывается относительная доза воздействия опасных и вредных факторов?
5. Почему именно максимальное снижение дозы воздействия опасных и вредных факторов принимается в качестве целевой функции в задаче распределения средств, выделяемых для повышения безопасности техносферы?

Лабораторная работа №12

Тема: Изучение и применение методики определения производственных операций с повышенной опасностью

Цель работы: практически освоить методику определения производственных операций с повышенной опасностью

Задание по лабораторной работе

- 1) изучить методику определения производственных операций с повышенной опасностью;
- 2) для своего варианта, указываемого преподавателем (см. таблицу 12.2), определить операции с повышенной опасностью.

Методические указания по выполнению лабораторной работы и подготовке отчета

Изучите изложенный ниже теоретический материал. Выпишите исходные данные для выполнения работы по своему варианту, указываемому преподавателем, а также расчетные формулы с расшифровкой входящих в них обозначений. Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 12.1, а варианты заданий в таблице 12.2. Результаты расчетов должны быть представлены в форме таблицы 12.3.

Таблица 12.1 – Исходные данные к выполнению лабораторной работы № 12

Номер операции, j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число N_j происшедших несчастных случаев за все время наблюдений	7	11	4	5	8	9	6	5	14	10	13	15
Число Q циклов реализации производственного процесса (операции)	15	4	18	11	9	14	10	16	14	9	19	5
Объем трудовых затрат T_j , соответствующий одному циклу работы, чел.-смен	500	400	350	150	280	600	450	550	800	700	950	550

Таблица 12.2 – Варианты выполнения лабораторной работы

№ вариантов	№ операций из таблицы 1	Число операций n
1	1, 3, 4, 6, 8, 9, 10	7
2	2, 4, 5, 7, 8, 9	6
3	1, 4, 5, 6, 8, 9, 10	7
4	2, 4, 6, 8, 9	5
5	2, 3, 5, 7, 8, 9, 10	7
6	1, 2, 3, 6, 9, 10	6
7	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10	8
8	2, 4, 5, 7, 8, 9	6
9	1, 3, 5, 6, 8, 9, 10	7
10	3, 4, 5, 7, 9, 10	6

В отчете должны быть представлены номер, название, цель работы, таблицы 12.1, 12.2, 12.3 в части, относящейся к указанному преподавателем варианту. На основании выполненных расчетов должны быть приведены номера операций (две-три) с повышенной опасностью.

Таблица 12.3 – Результаты расчетов потока несчастных случаев

Номера операций из таблицы 12.2								
Произведение $Q \cdot T$								
Поток λ_j несчастных случаев								

Теоретический материал

Производственные процессы, как правило, состоят из нескольких операций. Трудоемкость этих операций, оцениваемая в чел.-сменах, различна. Очевидно, что при большой трудоемкости вероятность несчастного случая выше. Поэтому для определения степени опасности операций необходимо рассчитывать поток (число) несчастных случаев λ_j , приходящихся на единицу трудозатрат. Этот расчет должен быть выполнен по каждой операции по формуле

$$\lambda_j = N_j / (Q \cdot T_j). \quad (12.1)$$

Расшифровки величин, входящих в эту формулу, уже были приведены в таблице 12.1.

Далее рассчитывается среднее арифметическое значение $\bar{\lambda}$.

Операциями с повышенной опасностью признаются те, которые подпадают под условие

$$\lambda_j \geq \bar{\lambda} + t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (12.2)$$

где t – параметр t-распределения Стьюдента;

S – среднее квадратическое отклонение;

n – число анализируемых операций согласно варианту.

Для определения t для доверительной вероятности 0,95 необходимо воспользоваться таблицей 3 Приложения.

Формула для расчета S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 - \left[\left(\sum_{j=1}^n \lambda_j \right)^2 / n \right]}{n-1}}. \quad (12.3)$$

Знание операций с повышенной опасностью позволяет именно на них сосредоточить основное внимание на профилактике травмоопасности, относящиеся к изучаемому производственному процессу.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

1. Каков порядок определения производственных операций с повышенной опасностью?
2. Что может пониматься под циклом реализации производственного процесса?
3. Каков необходимый объем статистики несчастных случаев для проведения изложенного исследования?
4. Почему для определения операций с повышенной опасностью рассчитывается поток несчастных случаев на единицу трудозатрат?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородулина, С. А. Методы научных исследований: учебное пособие / С. А. Бородулина. – Санкт-Петербург: СПбГУ ГА им. А.А. Новикова, 2025. – 80 с. – ISBN 978-5-907860-10-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/482660>.
2. Клячкин, В. Н. Статистические методы анализа данных: учебное пособие / В. Н. Клячкин, Ю. Е. Кувайскова, В. А. Алексеева. – Москва: Финансы и статистика, 2021. – 242 с. – ISBN 978-5-00184-057-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/179802>.
3. Методы обработки экспериментальных данных: учебное пособие / С. А. Гордин, А. А. Соснин, И. В. Зайченко, В. Д. Бердоносов. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГУ, 2022. – 75 с.
4. Минько, В.М. Управление техносферной безопасностью: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Техносферная безопасность» / В.М. Минько, Н.А. Евдокимова, С.А. Лебедев, - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 218 с.
5. Минько, В. М. Методы научных исследований в техносферной безопасности: учебное пособие / В. М. Минько. – Калининград: КГТУ, 2014. – 97 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/359897>.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – Критические точки F -критерия при уровне значимости $\alpha = 0,05$

k_2	k_1					
	3	4	5	6	7	8
3	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84
4	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04
5	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82
6	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15
7	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73
8	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44
9	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23
10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07
11	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95

Таблица 2 – Критические точки t -распределения Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$

Число степеней свободы k	$T_{кр}$	Число степеней свободы k	$T_{кр}$
3	2,31	10	1,81
4	2,13	11	1,80
5	2,01	12	1,78
6	1,94	13	1,77
7	1,89	14	1,76
8	1,86	15	1,765
9	1,83	16	1,75

Таблица 3 – Значения параметра t -распределения Стьюдента (двухсторонняя критическая область)

Число степеней свободы $k=n-1$	Доверительная вероятность β			
	0,80	0,90	0,95	0,99
1	2	3	4	5
3	1,638	2,35	3,18	5,84
4	1,533	2,13	2,77	4,60
5	1,476	2,02	2,57	4,03
6	1,440	1,943	2,45	3,71
7	1,415	1,895	2,36	3,50
8	1,397	1,860	2,31	3,36
9	1,383	1,833	2,26	3,25
10	1,372	1,812	2,23	3,17
11	1,363	1,796	2,20	3,11
12	1,356	1,782	2,18	3,06
13	1,350	1,771	2,16	3,01
14	1,345	1,761	2,14	2,98
15	1,341	1,753	2,13	2,95

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5
16	1,387	1,746	2,12	2,92
17	1,333	1,740	2,11	2,90
18	1,330	1,734	2,10	2,88
19	1,328	1,729	2,09	2,86
20	1,325	1,725	2,09	2,84
25	1,316	1,708	2,06	2,79
30	1,310	1,697	2,04	2,75
40	1,303	1,684	2,02	2,70
60	1,296	1,671	2,00	2,66
120	1,289	1,658	1,98	2,62
∞	1,282	1,645	1,96	2,58

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. 4,3 л. Печ. л. 3,1.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1