

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 изучению дисциплины
для студентов, обучающихся в магистратуре
по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность

Калининград
2025

УДК 614.8.084/658.382.3

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 изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 20.04.01 Техносферная безопасность / **Н.А. Евдокимова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 58 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по изучению дисциплины «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность. В пособии представлены методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, методические указания по выполнению контрольной работы, методические указания по подготовке и сдаче экзамена, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине, а также список рекомендуемых источников.

Табл. 16, рис. 4, список лит. – 12 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 614.8.084/658.382.3

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению.....	7
2. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	51
3. Методические указания по подготовке и сдаче экзамена.....	53
4. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы по дисциплине.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	56
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для студентов по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» по дисциплине «Методы исследования процессов и явлений в техносфере», входящей в состав образовательной программы.

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.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать:

- основы методологии научных исследований и принципы организации научно-исследовательской деятельности; методы сбора, обработки и анализа данных в области техносферной безопасности; правила оформления научных публикаций, отчетов, заявок на патенты и других форм научной коммуникации; этические нормы и требования к проведению научных исследований;

уметь:

- выбирать и применять адекватные методы исследования для решения профессиональных задач в области охраны труда и пожарной безопасности; анализировать и интерпретировать данные с помощью современных программных средств; строить модели и выдвигать гипотезы, проводить их верификацию и оценку релевантности; структурировать информацию, выявлять закономерности и формулировать выводы на основе полученных данных; оформлять результаты исследований в виде отчетов, рефератов, статей, заявок на объекты интеллектуальной собственности в соответствии с установленными требованиями;

владеть:

- навыками использования методов и технологий научного исследования; навыками работы с базами данных, статистическими и аналитическими программными инструментами; технологиями научной коммуникации и подготовки публикаций в профессиональном формате; способностью обосновывать актуальность и значимость исследования, формулировать цели, задачи, гипотезы и выводы; навыками планирования и реализации научно-исследовательских проектов в области техносферной безопасности.

При изучении дисциплины используются компетенции, базовые знания, умения и навыки, полученные в процессе освоения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Студенты, приступающие к изучению данной дисциплины, для успешного ее освоения должны иметь представления об общей теории системной дина-

мики, моделировании процессов возникновения происшествий в техносфере, разработке мероприятий, направленных на снижение профессиональных рисков.

Дисциплина «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» формирует компетенции, используемые студентами в дальнейшей профессиональной деятельности.

Текущий контроль осуществляется после рассмотрения на лекциях соответствующих тем в форме тестовых заданий по отдельным темам.

Оценивание осуществляется по следующим критериям:

«Отлично» – 81-100 % правильных ответов в тесте;

«Хорошо» – 61-80 % правильных ответов в тесте;

«Удовлетворительно» – 41-60 % правильных ответов в тесте;

«Неудовлетворительно» – менее 40 % правильных ответов в тесте.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся экзаменационные вопросы.

К экзамену допускаются студенты, положительно аттестованные по результатам тестирования, прошедшие полностью предусмотренный учебным планом лабораторный практикум и выполнившие контрольную работу (предусмотрено для студентов заочной формы обучения). Итоговая оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной и зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на экзаменационные вопросы).

- оценка «отлично» – ответ полный, правильный, понимание материала глубокое, основные умения сформированы и устойчивы; изложение логично, доказательно, выводы и обобщения точны и связаны с областью будущей специальности;

- оценка «хорошо» – ответ удовлетворяет вышеназванным требованиям, но изложение недостаточно систематизировано, отдельные умения недостаточно устойчивы, в определении понятий, в выводах и обобщениях имеются неточности, легко исправимые с помощью дополнительных вопросов преподавателя;

- оценка «удовлетворительно» – ответ обнаруживает понимание основных положений излагаемого материала, однако наблюдается значительная неполнота знаний; определение понятий нечёткое, умения сформированы недостаточно, выводы и обобщения аргументированы слабо, в них допускаются ошибки;

- оценка «неудовлетворительно» – ответ неправильный, показывает незнание основного материала, грубые ошибки в определении понятий, неумение

работать с источниками. Ставится также при отказе студента отвечать по билету.

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и планируемые результаты освоения дисциплины; место дисциплины в структуре ОПОП ВО; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки); форма проведения промежуточной аттестации; условия допуска к экзамену, критерии и нормы оценки (текущей и промежуточной аттестации);

основной части, которая содержит тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению, методические указания по выполнению контрольной работы, методические указания по подготовке и сдаче экзамена, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине;

заключения;

списка рекомендуемых источников.

1. Тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению

Тема 1. Организационные основы исследований в области техносферной безопасности

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Актуальные проблемы техносферной безопасности
- 2) Источники и стимулы исследовательских поисков в техносферной безопасности
- 3) Организационные формы исследований
- 4) Основные этапы проведения исследований
- 5) Методологические принципы исследований в техносферной безопасности
- 6) Методы исследований в техносферной безопасности
- 7) Содержание постановочного этапа исследований в техносферной безопасности
- 8) Порядок изучения текущего состояния исследований по проблеме
- 9) Порядок изучения нормативных требований техносферной безопасности
- 10) Показатели эффективности исследований в техносферной безопасности
- 11) Оформление результатов научного исследования

Методические указания по проведению занятия

К числу актуальных проблем техносферной безопасности, требующих своего специального рассмотрения, можно отнести:

- повышение своевременности прогнозирования опасных природных явлений – землетрясений, наводнений, засух, смерчей, извержений вулканов и др.;

- уточнение возможных параметров опасных природных явлений, которые должны учитываться при осуществлении деятельности человека в техносфере (возможная высота волн цунами, продолжительность засух, сила землетрясений, глубина возможных затоплений при наводнениях, скорость нарастания опасных условий;

- повышение независимости управления сложными техническими системами от поведения человека, т.е. от всего комплекса показателей, объединяемых термином «человеческий фактор»;

- повышение уровня безопасности производственной деятельности, т.к. в целом ряде отраслей экономики этот уровень находится на неприемлемо низком уровне;

- совершенствование государственного управления охраной труда;

- совершенствование управления охраной труда в организациях;

- стимулирование снижения профессиональных рисков как со стороны работодателей (нанимателей), так и со стороны работников (нанимаемых);
- обоснование критериев и методик оценки профессиональных рисков;
- совершенствование государственной пожарной охраны;
- совершенствование пожарной охраны на уровне отдельных организаций;
- снижение дорожно-транспортных происшествий в условиях резкого увеличения числа участников дорожного движения;
- совершенствование страхования всех видов, в т.ч. от несчастных случаев и профессиональных заболеваний, промышленных аварий и катастроф.

К источникам и стимулам исследовательских поисков в техносферной безопасности относятся:

- гуманистические идеалы, стремление сделать жизнь человека более здоровой и безопасной независимо от других целей и условий исследований;
- накопленные в ходе развития техносферы данные о природных явлениях, авариях и катастрофах, несчастных случаях и заболеваниях;
- разработанные методы научных исследований, включая широкий спектр математических методов;
- творческий потенциал специалистов в области техносферной безопасности;
- достижения комплекса наук о человеке;
- существующий передовой прошлый опыт проведения исследований в техносферной безопасности;
- стремление к повышению репутации, как со стороны отдельных специалистов, предприятий, так и страны в целом.

Можно выделить индивидуальные, коллективные, комплексные исследования.

В общем случае исследование, в т.ч. в области техносферной безопасности, включать пять этапов:

- 1) оценка необходимости и важности разрабатываемой проблемы для техносферной безопасности;
- 2) исследование текущего состояния разработанности проблемы, имеющихся результатов, их достоинств и недостатков по отношению к обеспечению нормативных требований техносферной безопасности;
- 3) определение целей и задач исследования;
- 4) проведение запланированных исследовательских работ - экспериментов, исследований на математических моделях, получение результатов исследований в виде схем, графиков, таблиц;
- 5) оформление выводов и рекомендаций по результатам исследования.

Выработаны следующие общенаучные принципы:

- принцип объективности;
- принцип сущностного подхода;
- генетический принцип;
- принцип системного подхода;
- принцип целостности;
- принцип деятельностного подхода.

Постановочный этап в проведении исследований имеет важное значение, в значительной мере определяя успех всей работы. Любое исследование начинается с выбора объектной области. После определения объектной области уже можно указать проблему и тему исследования. Формулировка темы должна быть конкретной, привязанной к выбранному объекту исследования. Предмет исследования определяется с учетом выбранного объекта исследования и указывает то, что предстоит изучить и получить результат. Постановочная часть исследования предполагает также формулировку его цели и задач.

Любое исследование предполагает обязательное изучение текущего состояния, содержания выполненных работ по проблеме. Должны изучаться учебники и учебные пособия, монографии, справочники, научные статьи в периодических изданиях и сборниках материалов научных конференций.

Установленные обоснованные нормативы в области техносферной безопасности – это своеобразные ориентиры, к достижению которых должно быть направлено любое исследование в какой-либо конкретной области. Эти нормативы установлены в различных нормативных правовых документах Российской Федерации. Таких документов в техносферной безопасности – более трех тысяч. Поэтому составление обзора нормативных требований к объекту проектирования – достаточно трудоемкий этап исследования.

Показателями эффективности (результативности) исследований безопасности техносферы являются:

- вероятность чрезвычайных ситуаций и масштабов их последствий;
- объемы нагрузок на окружающую природную среду – водную, воздушную и литосферу;
- вероятность аварий на опасных производственных объектах;
- значения всех стандартных показателей производственного травматизма;
- значения всех стандартных показателей профессиональной и профессионально обусловленной заболеваемости работников;
- уровень гуманизации труда и устойчивости социально-трудовых отношений;
- частота и тяжесть последствий пожаров на различных объектах;
- частота и тяжесть происшествий на всех видах транспорта;

- степень ответственности работодателей и работников при нарушениях в области безопасности техносферы;
- степень заинтересованности предпринимателей в реализации мероприятий по повышению безопасности техносферы;
- степень заинтересованности работников в безопасном поведении.

Любое научное исследование должно быть оформлено в виде каких-либо конечных документов: отчетов, докладов, статей, иногда опытных образцов изделий. Студенты на основе проведенных научных исследований могут оформлять курсовые работы или проекты, выпускные квалификационные работы. Имеющийся межгосударственный стандарт ГОСТ 7.32-2017 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления» определяет содержание отчета.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, 3, 9, 10].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Что понимается под проблемой?
2. Какие проблемы являются истинными и актуальными?
3. Перечислите актуальные проблемы техносферной безопасности.
4. Что относится к источникам и стимулам исследовательских поисков в техносферной безопасности?
5. Укажите возможные виды исследований в области безопасности техносферы.
6. Сколько этапов в общем случае включает проведение исследования?
7. Каковы общенаучные принципы, при следовании которым можно с большей вероятностью рассчитывать на успех исследования?
8. Перечислите возможные методы проведения исследований в техносферной безопасности.
9. Как определяется риск несчастного случая?
10. Как снизить вероятность попадания опасных травмирующих факторов?
11. Каково содержание постановочного этапа исследований в техносферной безопасности?
12. Укажите обобщенные показатели эффективности исследований в техносферной безопасности?

Рекомендуемая литература по теме 1: [1, 3, 9, 10].

Тема 2. Методы анализа статистических данных по производственному травматизму и заболеваемости работников

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Групповой метод
- 2) Операционный метод
- 3) Топографический метод
- 4) Монографический метод
- 5) Метод статистической контрольной карты

Методические указания по проведению занятия

Сущность *группового метода* заключается в том, что имеющиеся статистические данные по несчастным случаям группируются по интересующим исследователя признакам: профессия пострадавших, выполнявшаяся работа, характер травм, пол, возраст пострадавших, продолжительность смены, время от начала рабочей смены, месяц года, стаж работы и др. Таким путем могут быть выявлены, например, профессии, работы, стажевые группы, возрастные группы работников, характеризующиеся повышенной опасностью.

Находит практическое применение *операционный метод* анализа производственного травматизма, который позволяет после соответствующих расчетов указать в изучаемом технологическом процессе операции с повышенной опасностью. Пусть в ходе реализации Q циклов какого-либо технологического процесса произошли N несчастных случаев. Изучаемый процесс состоит из n операций, объем трудовых затрат на их выполнение в каждом цикле T_j . Для выявления операций с повышенной опасностью необходимо:

1) разделить весь собранный массив данных о несчастных случаях (не менее 73 случаев) по операциям;

2) рассчитать поток λ_j несчастных случаев для каждой операции, приходящейся на 1 чел.-ч (или 1 чел.-смену):

$$\lambda_j = \frac{N_j}{Q \cdot T_j}, \quad (1)$$

где N_j - число происшедших несчастных случаев за Q циклов реализации технологического процесса при выполнении j -й операции;

3) рассчитать среднее значение $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_j. \quad (2)$$

Операциями с повышенной опасностью будут те, для которых

$$\lambda_j \geq \bar{\lambda} + t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где t – параметр распределения Стьюдента, табличная величина, определяемая в зависимости от числа степеней свободы $k = n-1$ и доверительной вероятности β ;

S – среднее квадратическое отклонение.

Выявленные операции с повышенной опасностью должны быть подвергнуты тщательному анализу с целью разработки необходимых предупредительных мероприятий.

Применение *топографического метода* предполагает нанесение с помощью условных знаков данных о происшедших несчастных случаях разной степени тяжести на предварительно вычерченный план производственного помещения. На нем обязательно указывают все установленное оборудование. Скопление знаков, обозначающих несчастные случаи, указывает на существование в этом месте опасной зоны. Таким образом, топографический метод используется для выявления опасных зон. Для обозначения легких случаев можно использовать знак в виде треугольника, тяжелых – квадрата, со смертельным исходом – звездочки.

Монографический метод анализа используется обычно при тяжелых и смертельных несчастных случаях. Метод предполагает изучение всего комплекса условий, при которых произошел, например, смертельный несчастный случай. С помощью монографического метода может изучаться также травмоопасность отдельных объектов или процессов, т.е. объектом исследования может быть цех, здание, судно, вид оборудования, отдельный технологический процесс. Предполагается, что эти объекты изучаются с достаточной степенью подробности, выявляются все возможные опасные и вредные производственные факторы и затем обосновываются предупредительные мероприятия.

Статистический метод основывается на анализе статистических данных о несчастных случаях за ряд лет с целью определения количественных показателей производственного травматизма. Для анализа показателей травматизма в динамике может применяться *метод статистических контрольных карт* (СКК). Построение СКК заключается в нанесении на график по вертикали данных по какому-либо показателю травматизма (например, по коэффициенту частоты). По горизонтали откладывается анализируемый период времени – несколько лет или месяцев.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Назовите методы, которые могут использоваться для анализа статистических данных по производственному травматизму или заболеваемости работников?
2. В чем заключается сущность группового метода анализа показателей производственного травматизма?
3. Как рассчитать коэффициент частоты несчастных случаев среди работников возрастной группы 40-45 лет?
4. В чем заключается операционный метод анализа производственного травматизма? Что этот метод позволяет установить?
5. Когда целесообразно использовать монографический метод? Почему этот метод получил такое название?
6. Как строится статистическая контрольная карта?
7. Как определяется показатель динамики производственного травматизма?

Рекомендуемая литература по теме 2: [3].

Тема 3. Методы экспертных оценок и их использование в техносферной безопасности

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Общие сведения
- 2) Рассмотрение методов экспертных оценок

Методические указания по проведению занятия

Решение ряда задач техносферной безопасности зависит от факторов, которые не могут быть определены с помощью каких-либо формул или путем непосредственных измерений. К такого рода задачам могут быть отнесены, например, повышение объективности, т.е. полноты учета несчастных случаев, оценка приоритетности целей специальной оценки условий труда, оценка приоритетности мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, роль государства в управлении охраной труда и др.

Для решения такого рода задач могут быть привлечены специалисты – эксперты, которые в ходе исследования присваивают учитываемым факторам числа натурального ряда – ранги. Обычно ранг 1 присваивается наиболее значимому по мнению эксперта фактору, а ранг n – наименее значимому. При этом, что очевидно, значение n должно быть равно числу оцениваемых факторов.

Обычно ранжирование ведется несколькими экспертами. В ходе исследования определяют сумму рангов по всем исследуемым факторам от каждого

эксперта. Тот фактор, который получает наименьшую сумму рангов, является наиболее значимым и ему присваивается наивысший (т.е. первый) ранг.

Важно, чтобы анализируемые экспертами факторы были в достаточной мере различимыми, характеризовали разные стороны влияния на изучаемый объект. В специальной литературе приводятся сведения о том, что число ранжируемых, т.е. учитываемых факторов не должно превышать 20, а наиболее надежные результаты могут быть получены при числе факторов менее 10.

Один из простейших методов экспертных оценок заключается в следующем.

После вычисления суммы рангов $\sum_{j=1}^m x_{ij}$, где m – число экспертов, а x_{ij} – ранг, присвоенный i -му фактору j -м экспертом, определяют степень согласованности мнений экспертов по изучаемой проблеме. Для этого рассчитывают коэффициент конкордации W по известной формуле

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)} = \frac{12 \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right)^2 \right]}{m^2(n^3-n)}, \quad (4)$$

где S – сумма квадратов отклонений.

При малом числе оцениваемых факторов ($n \leq 7$) достаточность согласованности мнений экспертов оценивают 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 учитываемых факторов n – см. таблицу 1.

Таблица 1 – Критические значения коэффициента конкордации $W_{кр}(m, n)$ при уровне значимости 0,05

Число экспертов, m	Число оцениваемых 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 число учитываемых факторов $n > 7$, то для оценки согласованности мнений экспертов можно использовать статистический критерий λ^2 , который вычисляется по формуле

$$\lambda^2 = m(n-1) \cdot W. \quad (5)$$

Мнения экспертов признаются согласованными, если $\lambda^2 > \lambda_{0,05}^2$, где $\lambda_{0,05}^2$ – табличное значение статистического критерия при 5 %-м уровне значимости, определяемое по таблице 2.

Таблица 2 – Табличные значения статистического критерия $\lambda_{0,05}^2$

Степень свободы $n-1$	$\lambda_{0,05}^2$	Степень свободы $n-1$	$\lambda_{0,05}^2$
7	14,1	15	25,0
8	15,5	16	26,3
9	16,9	17	27,6
10	18,3	18	28,9
11	19,7	19	30,1
12	21,0	20	31,4
13	22,4	21	32,7
14	23,7	22	33,9

Эксперты могут устанавливать одинаковые ранги нескольким учитываемым факторам. В этом случае расчет коэффициента конкордации W ведут по формуле

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3-n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (6)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \sum t_j (t_j^3 - t_j), \quad (7)$$

где t_j – число одинаковых рангов у j -го эксперта.

Достаточность согласованности мнений экспертов оценивают по неравенству $W \geq W_{кр}(m, n)$.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3, 4].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Какие задачи техносферной безопасности могут рассматриваться с помощью методов экспертных оценок?
2. Как ограничивается число ранжируемых факторов при использовании метода экспертных оценок?
3. Для чего рассчитывают коэффициент конкордации?
4. Как определяются критические значения коэффициента конкордации?
5. Как вычисляется коэффициент конкордации при наличии одинаковых рангов, присвоенных экспертами отдельным учитываемым факторам?

6. Как оценивается степень согласованности мнений экспертов, если число учитываемых факторов $n > 7$?

7. Почему необходимо объективное расследование всех происшедших несчастных случаев?

8. Почему для установления факторов, способствующих повышению объективности учета несчастных случаев, используется метод экспертных оценок?

Рекомендуемая литература по теме 3: [3, 4].

Тема 4. Методы статистической обработки данных

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

1) Методы первичной обработки данных

2) Методы вторичной статистической обработки результатов

Методические указания по проведению занятия

Методами статистической обработки результатов эксперимента называются математические приемы, формулы, способы количественных расчетов, с помощью которых показатели, получаемые в ходе эксперимента, можно обобщать, приводить в систему, выявляя скрытые в них закономерности.

Все методы математико-статистического анализа условно делятся на первичные и вторичные.

Первичными называются методы, с помощью которых можно получить показатели, непосредственно отражающие результаты производимых в эксперименте измерений. К первичным методам статистической обработки относят, например, определение среднего арифметического, дисперсии, моды и медианы.

Вторичными называются методы статистической обработки, с помощью которых на базе первичных данных выявляют скрытые в них статистические закономерности. В число вторичных методов обычно включают корреляционный анализ, регрессионный анализ, факторный анализ, методы сравнения первичных данных двух или нескольких выборок.

Обследование тех или иных объектов может охватывать всех членов изучаемой совокупности без единого исключения или ограничиваться обследованием лишь некоторой части данной совокупности.

Совокупность, из которой отбирают определенную часть ее членов для совместного изучения, называют *генеральной*. Отобранная тем или иным способом часть генеральной совокупности получила название *выборочной совокупности* или *выборки*. Общую сумму членов генеральной совокупности называют ее объемом и обозначают буквой *N*. Объем выборки, обозначаемый бук-

вой n , может быть и большим, и малым, но он не может содержать менее двух единиц. Выборочный метод - основной при изучении статистических закономерностей.

Рассмотрим методы вычисления элементарных математических статистик.

1. Среднеарифметическое (или выборочное среднее) значение как статистический показатель определяется при помощи следующей формулы:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (8)$$

где n – количество членов выборки;

x_i – значения варьирующего признака.

2. Числовой характеристикой выборки, как правило, не требующей вычислений, является так называемая мода Mo . Модой называют количественное значение исследуемого признака, наиболее часто встречающееся в выборке.

3. Медиана Me , т.е. результат, находящийся в середине последовательности показателей, если их расположить в порядке возрастания или убывания. Справа и слева от медианы в упорядоченном ряду остается по одинаковому количеству данных (50% и 50%).

4. Разброс (иногда эту величину называют размахом) выборки обозначается буквой R . Это самый простой показатель, который можно получить для выборки, представляющий собой разность между максимальной и минимальной величинами данного конкретного вариационного ряда, т.е.

$$R = x_{max} - x_{min}. \quad (9)$$

5. Дисперсия - это среднее арифметическое квадратов отклонений значений переменной от её среднего значения. Определяется по формуле

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}. \quad (10)$$

6. Сама дисперсия, как характеристика отклонения от среднего, часто неудобна для интерпретации. Для того, чтобы приблизить размерность дисперсии к размерности измеряемого признака применяют операцию извлечения квадратного корня из дисперсии. Полученную величину называют стандартным отклонением S и определяют по формуле;

$$S = \sqrt{S^2}. \quad (11)$$

С помощью вторичных методов статистической обработки данных непосредственно проверяются, доказываются или опровергаются гипотезы, связанные с эмпирическим исследованием. Чаще всего в исследованиях применяют следующие методы вторичной статистической обработки результатов:

1. Методы сравнения двух или нескольких элементарных статистик (средних, дисперсий и т.п.), относящихся к разным выборкам;
2. Методы установления статистических связей между переменными (например, их корреляции друг с другом);
3. Регрессионное исчисление.

В исследованиях по техноферной безопасности достаточно часто приходится выдвигать различные гипотезы (предположения о связях между явлениями). В математической статистике различают два вида гипотез:

- нулевая (основная), обозначаемая H_0 ;
- конкурирующая (альтернативная), которая противоречит нулевой и обозначается H_1 .

Выдвигаемые гипотезы могут быть либо правильными, либо неправильными. Поэтому возникает необходимость в их проверке, которую осуществляют специальными статистическими методами. При этом могут быть допущены следующие ошибки:

- ошибки первого рода заключаются в том, что будет опровергнута правильная гипотеза;
- ошибки второго рода заключаются в принятии неправильной гипотезы.

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

На практике достаточно часто возникает необходимость сравнения средних значений величин по выборкам малого объема. При этом генеральные дисперсии этих величин неизвестны. В этом случае, прежде чем сравнивать средние значения необходимо проверить гипотезу о равенстве генеральных дисперсий. Проверка может быть проведена по критерию Фишера-Снедекора. Для этого вычисляют исправленные выборочные дисперсии сравниваемых величин, т.е. S_1^2 и S_2^2 . Исправленные выборочные дисперсии определяют по формуле

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \quad (12)$$

где n – объем выборки;

x_i – наблюдаемые значения сравниваемых величин;

\bar{x} – среднее арифметическое значение.

Находим величину F – отношения большей S_o^2 исправленной дисперсии к меньшей S_m^2 :

$$F = S_o^2 / S_m^2. \quad (13)$$

Величина F , если справедлива нулевая гипотеза, т.е. математические ожидания исправленных выборочных дисперсий равны $H_0: M(S_1^2) = M(S_2^2)$, имеет распределение Фишера-Снедекора со степенями свободы $k_1 = n_1 - 1$ и $k_2 = n_2 - 1$. Здесь n_1 – объем выборки, по которой получено большее значение исправленной дисперсии, а n_2 – меньшее значение.

Критическую точку $F_{кр}$ находят по значениям уровня значимости α , а также k_1 и k_2 . Если наблюдаемое или расчетное значение $F_n < F_{кр}$, то нулевая гипотеза о равенстве математических ожиданий выборочных дисперсий принимается.

Критические значения F – критерия находят по специальной таблице, извлечения из которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – 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

Если принимается гипотеза H_0 , то генеральные дисперсии сравниваемых величин одинаковы. В этом случае для установления значимости различий выборочных средних значений сравниваемых величин вычисляют T -критерий:

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}. \quad (14)$$

Величина T , если справедлива гипотеза $H_0: M(\bar{x}_1) = M(\bar{x}_2)$, имеет t -распределение Стьюдента с числом степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$. Критическую

точку $T_{кр}$ находят по уровню значимости α и числу степеней свободы – см. таблицу 4. При $T_n < T_{кр}$ нулевая гипотеза принимается, если же $T_n > T_{кр}$, то она отвергается, а принимается конкурирующая гипотеза. Значение T_n определяют по формуле (14).

Таблица 4 – Критические точки t -распределения Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$

Число степеней свободы k	$T_{кр}$	Число степеней свободы t	$T_{кр}$
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

Задача корреляционного анализа – дать количественную оценку соответствия значений одной переменной значениям другой переменной. Для решения этой задачи вычисляют статистический индекс, называемый *коэффициентом корреляции*. Коэффициент корреляции (обозначается маленькой буквой r) показывает нам две вещи: 1) степень связи двух переменных и 2) направление этой связи (прямая или обратная связь).

Если при увеличении одной переменной увеличивается другая, это указывает на *положительную связь* между этими величинами, и, наоборот, когда увеличение одной переменной сопровождается уменьшением значений другой, это указывает на *отрицательную связь*. Мерой связи между двумя переменными и является коэффициент корреляции r .

Коэффициент корреляции – это отвлеченное число, лежащее в пределах от -1 (полностью отрицательная, или обратная связь) через 0 (отсутствие связи) до +1 (полностью положительная, или прямая связь). Коэффициент корреляции близкий по значению к нулю, означает, что связь между двумя переменными полностью отсутствует, $r_{xy} = 0$.

Коэффициент *линейной корреляции* определяется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{n \sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}}, \quad (15)$$

где \bar{x}, \bar{y} – средние выборочные значения сравниваемых величин;

x_i, y_i – частные выборочные значения сравниваемых величин;

S_x^2, S_y^2 – дисперсии по первой и второй выборке.

Регрессионное исчисление - это метод математической статистики, позволяющий свести частные, разрозненные данные к некоторому линейному графику, приблизительно отражающему их внутреннюю взаимосвязь, и получить возможность по значению одной из переменных приблизительно оценивать вероятное значение другой переменной.

Графическое выражение регрессионного уравнения называют линией регрессии. Линия регрессии выражает наилучшие предсказания зависимой переменной (Y) по независимым переменным (X).

Регрессию выражают с помощью двух уравнений регрессии, которые в самом прямом случае выглядят, как уравнения прямой.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X, \quad (16)$$

где Y – зависимая переменная, X – независимая переменная;

a_0 – свободный член;

a_1 – коэффициент регрессии, или угловой коэффициент, определяющий наклон линии регрессии по отношению к осям координат.

$$X = b_0 + b_1 \cdot Y, \quad (17)$$

где X – зависимая переменная, Y – независимая переменная;

b_0 – свободный член;

b_1 – коэффициент регрессии, или угловой коэффициент, определяющий наклон линии регрессии по отношению к осям координат.

Количественное представление связи (зависимости) между X и Y (между Y и X) называется регрессионным анализом. Главная задача регрессионного анализа заключается в нахождении коэффициентов a_0 , b_0 , a_1 и b_1 и определении уровня значимости полученных аналитических выражений, связывающих между собой переменные X и Y.

При этом коэффициенты регрессии a_1 и b_1 показывают, насколько в среднем величина одной переменной изменяется при изменении на единицу меры другой. Коэффициент регрессии a_1 в уравнении можно подсчитать по формуле:

$$a_1 = r_{xy} \frac{S_y}{S_x}, \quad (18)$$

где r_{yx} – коэффициент корреляции между переменными X и Y;

S_x – среднеквадратическое отклонение, подсчитанное для переменной X;

S_y – среднеквадратическое отклонение, подсчитанное для переменной Y.

Коэффициент регрессии b_1 в уравнении можно подсчитать по формуле:

$$a_1 = r_{xy} \frac{s_x}{s_y}. \quad (19)$$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [2, 3, 5, 11, 12].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Назовите первичные методы статистической обработки, как они определяются?
2. Приведите примеры из практики техносферной безопасности, когда необходимо воспользоваться аппаратом статистической проверки гипотез.
3. Какие виды гипотез различают в техносферной безопасности?
4. Какие ошибки могут быть допущены для принятия гипотез?
5. В чем заключаются ошибки первого рода при принятии гипотез?
6. Приведите обоснования того, что ошибки при принятии гипотез в области техносферной безопасности могут иметь тяжкие последствия.
7. Как называют вероятность совершения ошибки первого рода при принятии гипотез?
8. По какой формуле определяют исправленные выборочные дисперсии?
9. Как находится наблюдаемое значение величины F -отношения (F -критерия)?
10. Как находится критическая точка $F_{кр}$ распределения Фишера-Снедекора?
11. Как определяется наблюдаемое значение T -критерия?
12. Как находятся критические точки T -критерия?
13. При каком соотношении наблюдаемого и критического значений T -критерия принимается нулевая гипотеза?
14. Какой метод применяют для установления статистических связей между переменными?
15. Что показывает статистический индекс, называемый коэффициентом корреляции?
16. Какой метод позволяет получить возможность по значению одной из переменных приблизительно оценивать вероятное значение другой переменной?

Рекомендуемая литература по теме 4: [2, 3, 5, 11, 12].

Тема 5. Линейное программирование

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Основные положения линейного программирования
- 2) Применение линейного программирования

Методические указания по проведению занятия

Отдельные задачи в области техносферной безопасности могут иметь форму задач линейного программирования (ЛП). Математические представления, использованные в ЛП, можно сформулировать следующим образом. Пусть x_i - i -я управляемая переменная ($i = 1, 2, \dots, n$). Необходимо определить такие значения x_i , чтобы выражение (целевая функция)

$$f = q_1x_1 + q_2x_2 \dots + q_nx_n, \quad (20)$$

с учетом смыслового содержания задачи, было максимизировано или минимизировано. На значения x_i могут быть наложены определенные ограничения вида:

$$\begin{aligned} k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n &\geq k; \\ b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n &\leq b; \\ d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_nx_n &= d; \\ x_i &\geq 0. \end{aligned} \quad (21)$$

При этих ограничениях возможны следующие варианты: 1) задача не имеет допустимого решения; 2) задача имеет единственное допустимое оптимальное решение; 3) несколько таких решений. Возможно и такое допустимое решение, для которого целевая функция неограниченна, т.е. значение целевой функции может быть либо сколь угодно большим для задачи максимизации, либо сколь угодно малым для задачи минимизации.

Задача максимизации в ЛП может быть сведена к эквивалентной задаче минимизации, что более соответствует смыслу задач, связанных с минимизацией профессионального риска. Для этого необходимо изменить все знаки перед коэффициентами в целевой функции. То есть задача максимизации $f_{max} = \sum_{i=1}^n q_i x_i$ эквивалентна минимизации $f_{min} = \sum_{i=1}^n (-q_i) x_i$.

Известны две канонические формы задач ЛП:

1) максимизировать $\sum_{i=1}^n q_i x_i$,
при ограничениях:
 $\sum_{i=1}^n q_{ij} x_i \leq b_j$ ($j = 1, 2, \dots, m$ - число ограничений)
 $x_i \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$ - число переменных);

2) минимизировать $\sum_{i=1}^n q_i x_i$,
при ограничениях:
 $\sum_{i=1}^n q_{ij} x_i = b_j$ ($j = 1, 2, \dots, m$ - число ограничений)
 $b_j \geq 0$,

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n - \text{число переменных}).$$

Обычно число переменных n больше числа ограничений m , хотя это вовсе не правило.

Из изложенного выше следует, что и целевая функция, и ограничения в приведенных моделях зависят от x_i линейным образом. Отсюда и название данного раздела математики: линейное программирование. С учетом содержания задач техноферной безопасности, вторая каноническая форма задачи ЛП более предпочтительна.

В ЛП, исходя из удобства решения задач, ограничения-неравенства превращают в равенства, вводя дополнительные неотрицательные переменные - по одной на каждое ограничение - неравенство. Эти дополнительные переменные называют нежесткими (или условными) и обозначают S_1, S_2, \dots, S_m . Если же некоторые из ограничений уже являются равенствами, то соответствующие нежесткие переменные равны нулю.

Таким образом, задача ЛП формально имеет вид:

максимизировать (или минимизировать)

$$\begin{aligned} f &= \sum_{i=1}^n q_i x_i \\ \text{при ограничениях} & \\ \sum_{i=1}^n q_{ij} x_i + S_j &= b_j; \\ x_i &\geq 0; \\ S_j &\geq 0. \end{aligned} \tag{22}$$

Рассмотрим условный пример. В ходе специальной оценки условий труда выявлены два ОВПФ: повышенный шум, начальная балльная оценка $x_{1н} = 5$ баллов; повышенная концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны, начальная балльная оценка $x_{2н} = 4$ балла. В условиях повышенного шума работают $N_1 = 25$ чел., повышенной загазованности $N_2 = 50$ чел. Планируемые балльные оценки $x_{1п} = 1$ балл, $x_{2п} = 2$ балла. Планируемая стоимость мероприятий по снижению шума $W_{1п} = 3500$ д.е., по снижению загазованности - $W_{2п} = 6000$ д.е. Допустимый общий расход средств - 8000 д.е. Связь между x_i и W_i (фактические затраты на профилактические мероприятия по устранению или снижению воздействия i -ого ОВПФ) – линейная и выражается следующим образом:

$$x_i = x_{iн} - a_i W_i, \tag{23}$$

где a_i – стоимостной коэффициент определяемый как

$$a_i = (x_{iн} - x_{iп}) / W_{iп}. \tag{24}$$

Исходя из указанных выше условий, получаем:

$$\begin{aligned}x_1 &= 5 - \frac{5-1}{3500} W_1; \\x_2 &= 4 - \frac{4-2}{6000} W_2.\end{aligned}$$

Общий уровень риска R будет равен

$$R = x_1 W_1 N_1 + x_2 W_2 N_2. \quad (25)$$

С учетом изложенного выше получаем

$$\begin{aligned}R &= \left(5 - \frac{5-1}{3500} W_1\right) \cdot 25 + \left(4 - \frac{4-2}{6000} W_2\right) \cdot 50; \\W_1 + W_2 &\leq 8000; \\W_1 &\leq 3500; \\W_2 &\leq 6000; \\W_i &\geq 0.\end{aligned} \quad (26)$$

Искомые переменные в полученной модели – W_1 и W_2 .
После вычислений выражение для R приобретает вид:

$$R = 325 - 0,029 \cdot W_1 - 0,017 \cdot W_2 .$$

Следовательно, необходимо решить следующую задачу

минимизировать

$$R = 325 - 0,029 \cdot W_1 - 0,017 \cdot W_2$$

при ограничениях

- 1) $W_1 + W_2 \leq 8000$;
- 2) $W_1 \leq 3500$;
- 3) $W_2 \leq 6000$;
- 4) $W_i \geq 0$.

Из записи целевой функции следует, что для снижения риска R наиболее выгодно увеличивать W_1 , так как коэффициент при W_1 имеет наибольшее значение. Вместе с тем значение W_1 ограничено 3500 - см. второе ограничение. Тогда согласно первому ограничению максимально возможное значение $W_2 = 8000 - 3500 = 4500$. Подставляя эти значения в целевую функцию, получим $R_{opt} = 147$ ед.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3, 6, 9, 10].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. В каких вариантах записывается задача линейного программирования?
2. Почему в линейном программировании ограничения – неравенства превращают в равенства?
3. Как для решения задачи методом линейного программирования определяется общий уровень риска?
4. Каким образом определяются сроки выполнения профилактических мероприятий согласно изложенному подходу?
5. Почему рассмотренный метод называется линейное программирование?

Рекомендуемая литература по теме 5: [3, 6, 9, 10].

Тема 6. Геометрическое (полиномиальное) программирование

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Общие положения геометрического программирования
- 2) Пример задачи геометрического программирования

Методические указания по проведению занятия

Геометрическое (или полиномиальное) программирование является одним из методов нелинейного математического программирования. Оно возникло как ответ на потребности инженерной практики, относящейся к проектированию сложных технических систем – электрических станций, ядерных реакторов, сложных технологических процессов. Соответствующие задачи проектирования могут быть описаны нелинейными математическими моделями и именно для исследования подобных моделей и было разработано геометрическое программирование.

Термин «геометрическое» в названии этого направления математического программирования возникло в связи с тем, что в теории геометрического программирования используется известное соотношение между средним арифметическим и средним геометрическим. Последнее при неодинаковых значениях величин всегда меньше. В техносферной безопасности расчеты среднего геометрического используются достаточно часто с целью исключения необоснованных оптимистических выводов об уровне безопасности.

Геометрическое программирование решает задачи минимизаций функций следующего вида:

$$y(q_i, g_j) = \sum_{i=1}^n q_i \prod_{j=1}^m g_j^{a_{ij}}, \quad (27)$$

где $q_i > 0, g_j > 0; a_{ij}$ - действительные показатели степеней ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$).

Функции (27) получили название позиномов (положительных полиномов), положительные коэффициенты q_i называются коэффициентами позиномов, n – число слагаемых, m – число переменных, g – искомые переменные.

На область допустимых значений g_j могут быть наложены ограничения, по которым значения некоторых других позиномов не должны превосходить единицы.

Таким образом, в наиболее общем виде задача геометрического программирования состоит в определении вектора \vec{g}^* , минимизирующего функцию

$$y_0(q_i, g_j) = \sum_{i=1}^n q_i \prod_{j=1}^m g_j^{a_{ij}}, \quad (28)$$

при $(\mu + m)$ ограничениях (29), (30), где μ – число позиномов в ограничениях задачи, m – число искомым управляемых переменных, на которые накладывается условие неотрицательности:

$$y_\gamma(q_i, g_j) = \sum_{i \in J[\gamma]} q_i \prod_{j=1}^m g_j^{a_{ij}} \leq 1; \quad (29)$$

$$J[\gamma] = 1, 2, \dots, \mu;$$

$$g_j > 0, \text{ для } j = 1, 2, \dots, m. \quad (30)$$

Кроме того, должны соблюдаться ограничения:

$$q_i > 0, \text{ для } i = 1, 2, \dots, n;$$

a_{ij} – действительные числа для $i = 1, 2, \dots, n_0; n_0 + 1, n; j = 1, 2, \dots, m$ (n_0 – число слагаемых целевой функции).

Выражения (28), (29) составляют прямую программу геометрического программирования. Минимизируемый позином $y_0(q_i, g_j)$ называется прямой функцией, переменные g_j - переменными прямой задачи, а ограничения (29), (30) – ограничениями прямой задачи.

В геометрическом программировании исключительно с целью облегчения решения прямая программа заменяется на двойственную, которая состоит в определении максимума двойственной функции

$$\theta(\vec{\delta}) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{q_i}{\delta_i}\right)^{\delta_i} \prod_{\gamma=1}^{\mu} \sigma_\gamma(\delta_i)^{\sigma_\gamma(\delta_i)}; \quad (31)$$

при двойственных ограничениях:

нормализации

$$\sum_{i=1}^{n_0} \delta_i = 1; \quad (32)$$

$$\begin{aligned} & \text{ортогональности} \\ \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot \delta_i &= 0 \text{ для } j = 1, 2, \dots, m; \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} & \text{неотрицательности} \\ \delta_i &\geq 0 \text{ для } i = 1, 2, \dots, n_o, n_o+1, \dots, n; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\sigma_\gamma(\delta_i) = \sum_{i \in J[\gamma]} \delta_i \quad J[\gamma] = 1, 2, \dots, \mu, \quad (35)$$

где δ_i – двойственные переменные.

В функции (31) каждый множитель $\sigma_\gamma(\delta_i)^{\sigma_\gamma(\delta_i)}$ вызван соответствующим ограничением $y_\gamma(q_i, g_j) \leq 1$. Матрица коэффициентов a_{ij} в выражении (33) представляет матрицу экспонент при переменных g_j прямой программы.

При вычислении двойственной функции $\theta(\vec{\delta})$ принимается, что при $\delta = 0$, значение $\delta^\delta = \delta^{-\delta} = 1$. Это обуславливает непрерывность двойственной функции $\theta(\vec{\delta})$ на всей области её определения.

Двойственные ограничения (32) и (33) называют соответственно условиями нормализации и ортогональности, ограничения (34) – условием неотрицательности.

Связь между прямой и двойственной программами геометрического программирования устанавливается в первой теореме двойственности, которая наиболее важна с практической точки зрения. В соответствии с этой теоремой, если прямая программа сильно совместна, т.е. существует хотя бы один вектор \vec{g}^* с положительными компонентами, такими, что

$$y_\gamma(q_i, g_j) < 1, \quad (36)$$

то тогда:

1) соответствующая двойственная программа совместна и существует удовлетворяющая двойственным ограничениям точка, в которой двойственная целевая функция достигает максимума;

2) максимальное значение двойственной функции равно минимуму прямой функции

$$\theta(\vec{\delta}^*) = y_0(q_i, g_i^*); \quad (37)$$

3) если $\vec{\delta}^*$ – максимизирующий вектор двойственной программы, то минимизирующий вектор \vec{g}^* прямой программы удовлетворяет системе равенств

$$q_i \prod_{j=1}^m g_j^{*a_{ij}} = \begin{cases} \delta_i^* \cdot \theta(\delta^*), & i = 1, 2, \dots, n \\ \frac{\delta_i^*}{\sigma_\gamma(\delta_i^*)}, & i = n_0 + 1, \dots, n \\ \gamma = 1, 2, \dots, \mu \end{cases} \cdot \quad (38)$$

Важное значение для классификации задач геометрического программирования имеет понятие степени трудности, определяемой разностью между числом позиномиальных членов в прямой программе и числом прямых переменных, увеличенным на единицу. Если эта разность равна нулю, то тогда число уравнений (32), (33) равно числу двойственных переменных и, следовательно, эта система имеет единственное решение, которое находится обычными методами линейной алгебры. Полученный максимизирующий вектор $\vec{\delta}^*$ затем подставляется в функцию (31) и таким образом находится её максимум, равный в соответствии со вторым утверждением приведенной выше теоремы двойственности минимуму прямой функции.

Если степень трудности больше нуля, то тогда условий (32) и (33) для определения максимизирующего двойственного вектора недостаточно. Но, используя эти условия, имеется возможность выразить все двойственные переменные через некоторые базисные переменные r , число которых равно степени трудности. Выраженные так двойственные переменные затем подставляются в двойственную функцию (31). Дифференцируя её по переменным r , получим систему из r нелинейных уравнений, решая которую определяем оптимальные значения базисных переменных, а затем и двойственных переменных.

Применение геометрического программирования покажем на следующем простом примере. Пусть в ходе решения задачи минимизации профессионального риска получена следующая математическая модель А:

$$\begin{aligned} & \text{минимизировать} \\ & y = q_1 x_1 x_2 + q_2 x_3 \rightarrow \min; \\ & \text{при ограничениях} \\ & 1) q_3 x_1^{-2} + q_4 x_3^{-1} \leq 1, \\ & 2) q_5 x_1 x_2^{-1} x_3 \leq 1, \end{aligned} \quad (A)$$

где $(x_1, x_2, x_3) > 0$ – искомые управляемые переменные; q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 – коэффициенты позиномов, имеющие следующие значения $q_1 = 0,1; q_2 = 0,2; q_3 = 5; q_4 = 2; q_5 = 0,2$.

Важно отметить, что модель А имеет стандартную форму задачи геометрического программирования и использование методов аппроксимации не требуется. Число позиномов в модели – пять (поэтому и число коэффициентов позиномов равно пяти), степень трудности $5 - (3 + 1) = 1$, т.е. равна единице.

По формулам (31-34) составим двойственную программу

$$\begin{aligned} & \text{максимизировать} \\ \theta(\delta_i) &= \left(\frac{q_1}{\delta_1}\right)^{\delta_1} \left(\frac{q_2}{\delta_2}\right)^{\delta_2} \left(\frac{q_3}{\delta_3}\right)^{\delta_3} \left(\frac{q_4}{\delta_4}\right)^{\delta_4} (q_5)^{\delta_5} (\delta_3 + \delta_4)^{\delta_3 + \delta_4} \rightarrow \max \\ & \text{при ограничениях:} \\ & \text{нормализации} \\ & \delta_1 + \delta_2 = 1 \tag{Б} \\ & \text{ортогональности} \\ \text{по } x_1: & \delta_1 - 2\delta_3 + \delta_5 = 0, \\ \text{по } x_2: & \delta_1 - \delta_5 = 0, \\ \text{по } x_3: & \delta_2 - \delta_4 + \delta_5 = 0. \end{aligned}$$

В целевой функции двойственной модели Б второе ограничение учтено сомножителем $q_5^{\delta_5}$. Дело в том, что по формулам (31) и (35) в отношении учета этого ограничения нужно было бы записать $\left(\frac{q_5}{\delta_5}\right)^{\delta_5} \cdot \delta_5^{\delta_5}$. После сокращения получаем $q_5^{\delta_5}$, т.е. то, что и записано в целевой функции модели Б.

В отношении условий ортогональности модели Б следует указать, что коэффициенты при переменных δ_i равны показателям степеней при соответствующих прямых переменных x_j .

Поскольку модель А имеет степень трудности, равную единице, то для определения значений двойственных переменных необходимо выполнить специальные преобразования с матрицей экспонент при управляемых переменных прямой модели – см. таблицу 5. Для получения диагональной матрицы экспонент выполняются необходимые операции с вектор-столбцами исходной матрицы экспонент – сложения, вычитания, умножения или деления на постоянные числа. В частности, для получения диагональной матрицы, представленной в табл. 3.1, были выполнены следующие действия с компонентами вектор-столбцов: 1) $\vec{x}_2 - \vec{x}_1$; 2) с полученными новыми компонентами \vec{x}_2 сложены компоненты \vec{x}_3 ; 3) от компонент \vec{x}_3 вычли полученные после второго действия компоненты \vec{x}_2 ; 4) от компонент \vec{x}_1 вычли новые компоненты \vec{x}_3 , полученные после третьего действия; 5) $\vec{x}_2 + \vec{x}_3$; 6) компоненты \vec{x}_3 делим на (-2). Полученная диагональная матрица экспонент используется для определения базисных

векторов двойственного пространства. Для этого матрицу, расположенную ниже диагональной матрицы, транспонируем с обратными знаками, а внизу дописываем новую диагональную матрицу.

Таблица 5 – Преобразования матрицы экспонент модели А

№№ членов позино- мов	Исходная матри- ца экспонент			Диагональная мат- рица экспонент			Базисные векто- ры двойственно- го пространства		Векторы нормализации и невязки	
	x1	x2	x3	x1	x2	x3	№ 1	№ 2	норма- лизации	невязки
1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
2	0	0	1	0	1	0	1	-1	1	-1
3	-2	0	0	0	0	1	0	1	0	1
4	0	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0
5	1	-1	1	-1	1	-1	0	1	0	1

Вектор нормализации находим из базисного вектора № 1, путем деления всех его компонент на сумму первых двух компонент (поскольку целевая функция прямой программы А состоит из двух позиномиальных членов). Второй базисный вектор используем для определения вектора невязки. В нашей задаче он один, так как степень трудности задачи равна единице. Численные значения компонент вектора невязки находим вычитанием из компонент второго базисного вектора суммы первых двух его компонент, умноженной на соответствующую компоненту вектора нормализации. В частности, для определения первой компоненты вектора невязки имеем: $1 - [1 + (-1)] \cdot 0 = 1$. Для второй: $(-1) - [1 + (-1)] \cdot (-1) = -1$. Аналогично проводятся расчеты определения оставшихся компонент вектора невязки.

Обозначим вектор нормализации \vec{b}_0 , а вектор невязки \vec{b}_1 . Тогда общее решение двойственных ограничений модели Б запишется в виде

$$\vec{\delta} = \vec{b}_0 + r\vec{b}_1. \quad (39)$$

где r – базисная переменная.

или

$$\vec{\delta} = \begin{Bmatrix} r \\ 1-r \\ r \\ 1 \\ r \end{Bmatrix}. \quad (40)$$

Подставим формулу (40) в двойственную целевую функцию модели Б. Получаем

$$\theta(r) = \left(\frac{q_1}{r}\right)^r \left(\frac{q_2}{1-r}\right)^{1-r} \left(\frac{q_3}{r}\right)^r q_4 q_5^r (1+r)^{1+r}. \quad (41)$$

Для определения оптимального значения базисного переменного r функция $\theta(r)$ логарифмируется, а затем её производная по r приравняется к нулю, т.е. имеем:

$$\ln \theta(r) = r \ln q_1 - r \ln r + (1-r) \ln q_2 - (1-r) \ln(1-r) + r \ln q_3 - r \ln r + \ln q_4 + r \ln q_5 + (1+r) \ln(1+r), \quad (42)$$

$$\frac{d \ln \theta(r)}{dr} = \ln q_1 - \ln r - 1 - \ln q_2 + \ln(1-r) + 1 + \ln q_3 - \ln r - 1 + \ln q_5 + \ln(1+r) + 1 = 0, \quad (43)$$

или

$$\frac{q_1 q_2 q_5}{q_2} = \frac{r^2}{1-r^2}. \quad (44)$$

Используя указанные выше значения коэффициентов позиномов, получаем

$$\frac{0,1 \cdot 5 \cdot 0,2}{0,2} = \frac{r^2}{1-r^2},$$

откуда $r = 0,577$.

Обращаясь к формулам (40), находим

$$\delta_1^* = 0,577; \delta_2^* = 0,423; \delta_3^* = 0,577; \delta_4^* = 1; \delta_5^* = 0,577.$$

Из целевой функции модели Б следует $\theta(\vec{\delta}^*) = 1,492$.

Наконец, используя формулы (38), получаем: $x_1 = 3,696$; $x_2 = 2,329$; $x_3 = 3,155$. В частности, для определения x_3 удобно использовать второй член целевой функции модели А, а именно: $0,2 \cdot x_3 = 1,492 \cdot 0,423$. Отсюда $x_3 = 3,155$. Для определения x_1 воспользуемся первым ограничением модели А: $(5 / x_1^2) = 0,577 / (0,577 + 1)$. Отсюда $x_1 = 3,696$. Для определения оптимального значения x_2 используем первый член прямой целевой функции и ранее найденное оптимальное значение управляемой прямой переменной x_1 . Получаем $0,1 \cdot 3,696 \cdot x_2 = 1,492 \cdot 0,577$. Из этого уравнения следует $x_2 = 2,329$.

Подставляя полученные оптимальные значения прямых переменных в целевую функцию модели А, получаем $y = 0,1 \cdot 3,696 \cdot 2,329 + 0,2 \cdot 3,155 = 1,492$. Этот результат подтверждает правомочность полученного решения: в геометрическом программировании оптимальные значения двойственной и прямой целевой функции одинаковы.

Таким образом, геометрическое программирование – достаточно изящный метод решения широко встречающегося в инженерной практике, в т.ч. в охране труда, класса нелинейных математических моделей.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3, 6, 9, 10].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Какую форму имеют математические модели, исследуемые с помощью геометрического программирования?
2. Приведите пример полинома (положительного полинома).
3. Как вычисляется среднее геометрическое?
4. Какую форму имеют ограничения в прямой задаче геометрического программирования?
5. Какой вид имеют двойственные ограничения в задачах геометрического программирования?
6. Как формируется двойственная целевая функция?
7. Как формируются ограничения двойственной программы?
8. Почему в геометрическом программировании прямая программа (задача) заменяется на двойственную?
9. Каким образом определяются базисные векторы двойственного пространства?
10. Как находятся векторы нормализации и невязки?
11. Как находятся оптимальные значения двойственных и прямых переменных?
12. Как вычисляется степень трудности задач геометрического программирования?
13. Как соотносятся степень трудности задач геометрического программирования и число максимизирующих уровней на конечном этапе решения?

Рекомендуемая литература по теме 6: [3, 6, 9, 10].

Тема 7. Динамическое программирование и его применение в задачах повышения безопасности

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Общие положения динамического программирования
- 2) Применение динамического программирования

Методические указания по проведению занятия

Задачи улучшения условий безопасности на любых производственных объектах могут решаться по двум основным направлениям: 1) составление и последующее исследование математических моделей возникновения профессиональных рисков, определение путей, методов и средств снижения вероятности их воздействия на работников; 2) установление причин несчастных случаев и разработка конкретных предупредительно-профилактических мероприятий по итогам исследования уже происшедших случаев травмирования. Сущность последнего подхода поясняется на рисунке 1. На этом рисунке использованы следующие обозначения: S_0 – запас средств, выделенных на программу повышения безопасности какого-либо технологического процесса; $ПО$ – производственная операция; m – число производственных операций, на которых произошли несчастные случаи; x_j – объем средств, вложенных в какую-либо производственную операцию с целью устранения причин несчастных случаев; подстрочные обозначения при x указывают на порядковый номер производственной операции: $N = \sum_{j=1}^m N_j$ – общее число происшедших и расследованных несчастных случаев; $\Delta W = \sum_{j=1}^m \Delta W_j$ – ожидаемое общее уменьшение числа несчастных случаев; ΔW_j – ожидаемое уменьшение числа несчастных случаев на j -й производственной операции. Исследуемые технологические процессы делятся на отдельные производственные операции. Ход разработки программы снижения травматизма представлен на рисунке 1. Он исходит из следующего: имеется некоторая технология, с которой связаны N несчастных случаев (НС) и которая включает m производственных операций $ПО_j$ ($j = 1, 2, \dots, m - 1, m$). Число НС, происшедших при выполнении этих операций, обозначено N_j . Имеется также некоторый ресурс (бюджет) S_0 , который должен быть распределен на усовершенствование производственных операций (устранение причин травмирования) таким образом, чтобы существенное уменьшение числа НС, относящееся ко всему процессу $\Delta W = \sum_{j=1}^m \Delta W_j$, было бы максимальным. Очевидно, для обеспечения уменьшения ΔW_1 необходимо вложение каких-то средств в первую производственную операцию. Если оно составит x_1 , то к усовершенствованию второй операции можно подойти только с запасом средств $S_0 - x_1$. Аналогично, к усовершенствованию последней операции можно будет подойти с остатком средств $S_0 - \sum_{j=1}^{m-1} x_j$. Все использованные обозначения указаны на рисунке 1, который иллюстрирует порядок решения задачи. Он включает следующие основные этапы:

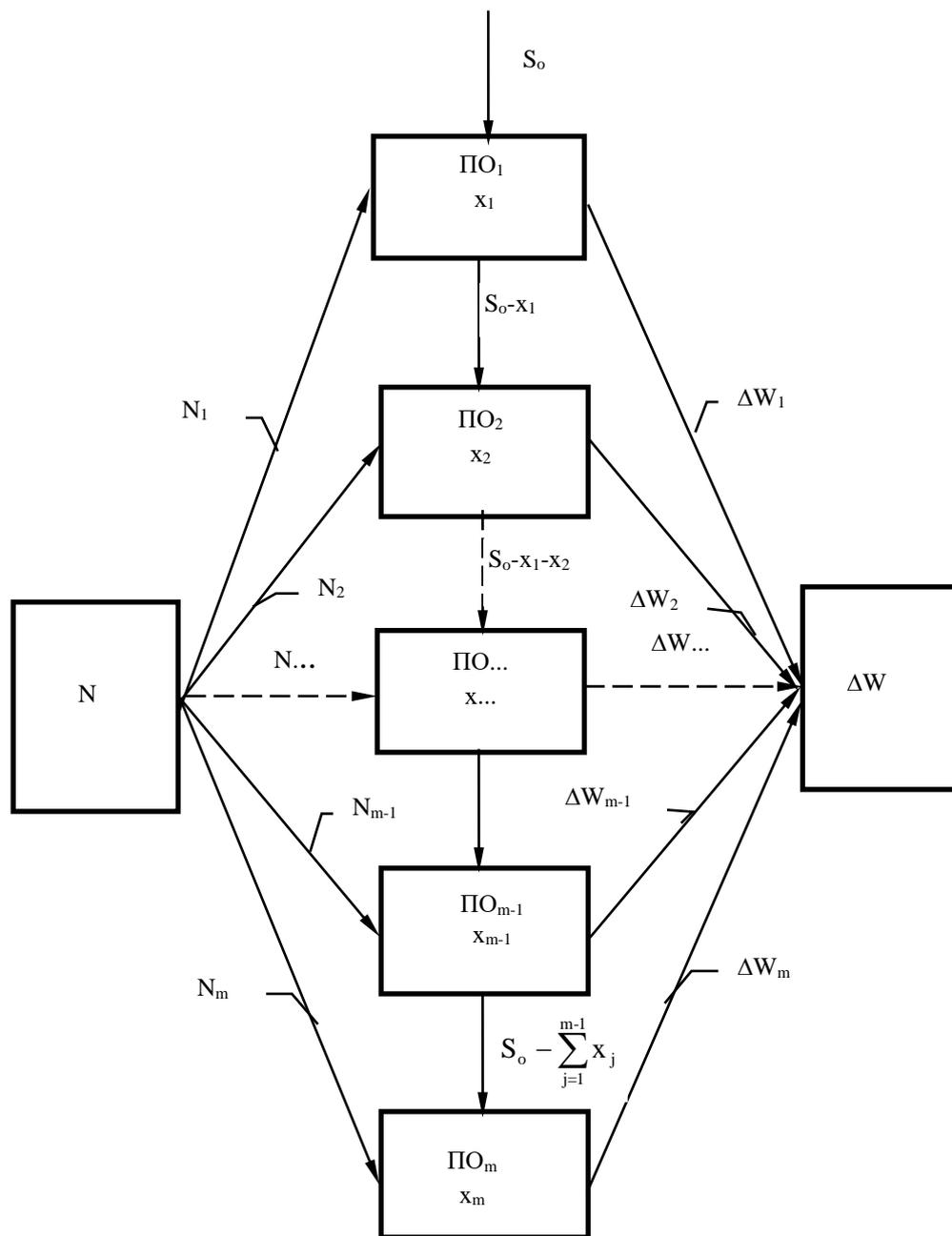


Рисунок 1 – Разработка программы повышения безопасности технологического процесса

1) устанавливается число НС по каждой производственной операции исследуемого технологического процесса;

2) путем соответствующего изучения травмирующих факторов, состояния оборудования, технологической оснастки, санитарно-гигиенических и технических факторов рабочей среды, организации труда устанавливаются причины НС по каждой операции рассматриваемой технологии и число вызванных ими НС;

3) определяется возможно более полный перечень профилактических мероприятий по снижению производственного травматизма для каждой выявленной причины НС;

4) устанавливаются эффективность и стоимость предупредительно-профилактических мероприятий по снижению травматизма. Под эффективностью здесь понимается вероятность исключения причины травмирования. Если эти вероятности известны для различных мероприятий, то становится возможной оценка ожидаемого общего уменьшения ΔW_{jk} числа несчастных случаев

$$\Delta W_{jk} = \alpha_{jk} \cdot W_k, \quad (45)$$

где α_{jk} – вероятность исключения k -й причины НС с помощью j -го мероприятия;

W_k – количество НС, вызванных k -й причиной.

Предполагается, что по каждой причине НС может быть предложено как одно, так и несколько предупредительных мероприятий (несколько альтернатив).

Необходимо распределить выделенный бюджет по отдельным производственным операциям так, чтобы обеспечивалось максимальное общее уменьшение числа НС для всего рассматриваемого процесса. Для решения указанной задачи может быть использован метод динамического программирования. При этом принцип оптимальности, закладываемый в основу всех последующих расчетов, определяется следующим образом: каким бы ни было направление (мероприятие) повышения безопасности, избранное для какой-то производственной операции технологического процесса, пути (мероприятия) повышения безопасности для последующих операций выбираются так, чтобы ожидаемое уменьшение количества несчастных случаев при рассматриваемой производственной операции – $\varphi_{m-i}(x)$, сложенное с ожидаемым уменьшением на предыдущих операциях – $W_{m-i+1}(S-x)$, было бы максимальным (i – номер операции). Направление, путь в приведенном определении обозначают конкретные мероприятия по снижению травоопасности производственных операций. Указанное определение принципа оптимальности может быть записано в виде следующего соотношения:

$$W_{m-i}(S) = \max_{x \leq S \leq S_0} \{ \varphi_{m-i}(x) + W_{m-i+1}(S-x) \}, \quad (46)$$

где S_0 – общий объем распределяемых средств (бюджет);

x – объем средств, вкладываемых в рассматриваемую $(m-i)$ -ю производственную операцию;

$S-x$ – объем средств, вложенных в предыдущую (или предыдущие) операцию (операции);

$S \leq S_o$ – запас средств, с которым подходят к рассматриваемой ($m-i$)-й производственной операции.

Собранные исходные данные о НС оформляются в виде таблицы 6. По каждой выявленной причине требуется определить число НС- N_{ik} (k – номер причины НС на i -й производственной операции).

Таблица 6 – Форма записи исходных данных для разработки оптимальной программы повышения безопасности

Код (i) и наименования производственных операций	Код (ik) и наименования причин НС по отдельным производственным операциям	Число НС, вызванных ik -й причиной, N_{ik}
1	2	3
1.	11.	N_{11}
	12.	N_{12}
...
i	ik	N_{ik}

После этого составляется таблиц 7, в которой по каждой производственной операции указываются (колонка 1) профилактические мероприятия (или их комбинации) по устранению причин НС, данные о стоимости этих мероприятий (колонка 2), вероятностях α_{ijk} устранения причин травмирования (колонки 3-6) и ожидаемом уменьшении числа НС W_{ij} (колонка 7). Величина W_{ij} определяется как:

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^{K_{ij}} \alpha_{ijk} \cdot N_{ik}, \quad (47)$$

где K_{ij} – число причин травмирования, на которые воздействует ij -е мероприятие.

Очевидно, значения W_{ij} находятся суммированием произведений вероятностей устранения причин НС (колонки 3, 4, 5, 6 в таблице 7) на число НС, вызванных этими причинами (колонка 3 в таблице 6).

При анализе эффективности некоторых мероприятий могут возникать сложности с определением значений α_{ijk} . Нужно отметить, что именно объективное установление этих значений во многом определяет достоверность всей программы снижения травматизма.

Таблица 7 – Определение ожидаемого уменьшения числа несчастных случаев W_{ij}

Код (ij) и наименования мероприятий (или их комбинаций) по устранению причин НС	Стоимость мероприятий S_{ij}	Вероятности α_{ijk} устранения причин НС				W_{ij}
		1-я причина	2-я причина	...	к-я причина	
1	2	3	4	5	6	7
<u>Операция 1</u>						
11	S_{11}	α_{111}	α_{112}	...	α_{11k}	W_{11}
12	S_{12}	α_{121}	α_{122}	...	α_{12k}	W_{12}
...
1j	S_{1j}	α_{1j1}	α_{1j2}	...	α_{1jk}	W_{1j}
<u>Операция 2</u>						
21	S_{21}	α_{211}	α_{212}	...	α_{21k}	W_{21}
22	S_{22}	α_{221}	α_{222}	...	α_{22k}	W_{22}
...
2j	S_{2j}	α_{2j1}	α_{2j2}	...	α_{2jk}	W_{2j}
И т.д.						
Общая стоимость мероприятий:	$\sum_i \sum_j S_{ij}$	Общее ожидаемое уменьшение числа НС				$\sum_i \sum_j W_{ij}$

Составлением таблиц 6 и 7 заканчивается подготовка исходных данных, необходимых для разработки оптимальной программы снижения травматизма. Дальнейшие построения и расчеты определяются по существу только выбором метода решения задачи. При использовании динамического программирования последующие расчеты оформляются в виде таблиц 8 и 9. В первой колонке таблицы 8 указаны возможные варианты вложений средств $0 \leq x \leq S_0$, где S_0 - общий допускаемый расход средств на реализацию программы снижения травматизма. Эти варианты указаны в виде возрастающей арифметической прогрессии со знаменателем c . Величина его определяется стоимостью самого недорогого профилактического мероприятия. Ожидаемые уменьшения $\varphi_i(x)$ числа несчастных случаев, указываемые в таблице 8, берутся из таблицы 7 – колонка 7.

В соответствии с правилами динамического программирования поиск оптимального варианта программы снижения производственного травматизма начинают с последней, m -й производственной операции. В процессе решения заполняется таблица 9, в которой: S - запас средств, с которым подходят к рассматриваемой производственной операции; $x_1(S), x_2(S), \dots, x_m(S)$ - условные оптимальные управления, т.е. средства, вкладываемые соответственно в 1, 2, ..., m -ю операции; $W_1(S), W_2(S), \dots, W_m(S)$ - ожидаемые уменьшения числа несчастных случаев, обеспечиваемые с помощью условных оптимальных управлений $x_i(S)$; c - стоимость самого недорогого мероприятия. Оптимальные управления $x_i(S)$ находятся из соотношения (46).

Таблица 8 – Расчетные данные об ожидаемом уменьшении числа несчастных случаев

Возможные объемы вложений средств, вкладываемых в повышение безопасности отдельных производственных операций	Ожидаемое уменьшение числа несчастных случаев $\varphi_i(x)$ при вложении x средств в различные производственные операции (число операций $i = m$)				
	$i = 1$	$i = 2$	...	$i = m-1$	$i = m$
0	0	0	0	0	0
c	$\varphi_1(c)$	$\varphi_2(c)$	...	$\varphi_{m-1}(c)$	$\varphi_m(c)$
$2 \cdot c$	$\varphi_1(2c)$	$\varphi_2(2c)$	...	$\varphi_{m-1}(2c)$	$\varphi_m(2c)$
$3 \cdot c$	$\varphi_1(3c)$	$\varphi_2(3c)$	...	$\varphi_{m-1}(3c)$	$\varphi_m(3c)$
...
x	$\varphi_1(x)$	$\varphi_2(x)$	...	$\varphi_{m-1}(x)$	$\varphi_m(x)$
...
S_o	$\varphi_1(S_o)$	$\varphi_2(S_o)$	...	$\varphi_{m-1}(S_o)$	$\varphi_m(S_o)$

Таблица 9 – Конечная форма записи расчетных данных, относящихся к оптимальной программе снижения производственного травматизма

S	$i = m$		$i = m-1$		...	$i = 2$		$i = 1$	
	$x_m(S)$	$W_m(S)$	$x_{m-1}(S)$	$W_{m-1}(S)$		$x_2(S)$	$W_2(S)$	$x_1(S)$	$W_1(S)$
c	$x_m(c)$	$W_m(c)$	$x_{m-1}(c)$	$W_{m-1}(c)$	...	$x_2(c)$	$W_2(c)$	$x_1(c)$	$W_1(c)$
$2 \cdot c$	$x_m(2 \cdot c)$	$W_m(2 \cdot c)$	$x_{m-1}(2 \cdot c)$	$W_{m-1}(2 \cdot c)$	...	$x_2(2 \cdot c)$	$W_2(2 \cdot c)$	$x_1(2 \cdot c)$	$W_1(2 \cdot c)$
$3 \cdot c$	$x_m(3 \cdot c)$	$W_m(3 \cdot c)$	$x_{m-1}(3 \cdot c)$	$W_{m-1}(3 \cdot c)$	...	$x_2(3 \cdot c)$	$W_2(3 \cdot c)$	$x_1(3 \cdot c)$	$W_1(3 \cdot c)$
...
S_o	$x_m(S_o)$	$W_m(S_o)$	$x_{m-1}(S_o)$	$W_{m-1}(S_o)$	...	$x_2(S_o)$	$W_2(S_o)$	$x_1(S_o)$	$W_1(S_o)$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3, 6, 9, 10].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Каковы особенности задач, исследуемых с помощью динамического программирования?

2. Как записывается принцип оптимальности, используемый в динамическом программировании?

3. По каким двум основным направлениям могут решаться задачи улучшения условий безопасности?

4. Что понимается под эффективностью предупредительно-профилактических мероприятий?

5. Какова форма записи исходных данных для разработки оптимальной программы снижения травматизма?

6. Каким образом определяется ожидаемое уменьшение числа несчастных случаев?

Рекомендуемая литература по теме 7: [3, 6, 9, 10].

Тема 8. Планирование экспериментов

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Точность экспериментальных исследований
- 2) Число опытов (измерений)

Методические указания по проведению занятия

Экспериментальные исследования всегда связаны с необходимостью установления необходимой точности. Точность результатов опытов определяется точностью измерений величин, оцениваемых в ходе опытов. В общем случае можно записать

$$\frac{\Delta_{пр}(a)}{a} = \pm d[\ln f(u, v, w \dots)], \quad (48)$$

где $\Delta_{пр}(a) / a$ – предельная относительная ошибка величины a ;

$\Delta_{пр}(a)$ – предельная абсолютная ошибка величины a .

Истинное значение x измеряемой величины будет $x = a \pm \Delta_{пр}$.

Из выражения (48) следует, что определяемая величина a является функцией переменных u, v, w .

Выражение (48) позволяет решить обратную задачу, т.е. определить необходимую точность измерений с помощью каких-либо методов и приборов, если задана общая точность опыта.

Ошибки опытов зависят от их вида. Опыт может состоять из одного измерения какой-либо величины. В этом случае ошибка опыта равна ошибке одного измерения. Однако опыт может состоять из ряда качественно различных измерений – аргументов, в каждом из которых возможны какие-то ошибки. В таких случаях ошибки опыта определяются с учетом следующих правил:

1. Ошибка суммы заключена между наибольшей и наименьшей из относительных ошибок слагаемых. Обычно учитывают либо среднее арифметическое значение, либо наибольшее значение ошибки;

2. Ошибка произведения или частного от деления равна сумме относительных ошибок сомножителей или делимого и частного;

3. Ошибка n -й степени какого-либо основания (значения измеряемой величины) в n раз больше относительной ошибки основания;

4. Ошибка синуса и косинуса равна произведению абсолютного значения котангенса измеряемого угла или соответственно тангенса на предельную абсолютную ошибку измерения угла, выраженную в радианах;

5. Ошибка тангенса и котангенса угла равна частному от деления двойной абсолютной ошибки угла в радианах на синус двойного угла.

На практике может использоваться таблицу 10, в которой приводятся предельные ошибки при различных способах измерения.

Предположим, что опыт состоит в определении некоторой величины W , которая следующим образом зависит от измеряемых в опыте величин

$$W = 0,1B \frac{S}{t} T_0, \quad (49)$$

где B и S – линейные величины, м;

t и T_0 – время, с.

Используя формулу (48), получаем

$$\frac{\Delta_{\text{пр}}(W)}{W} = \pm \left(\frac{\Delta_{\text{пр}}(B)}{B} + \frac{\Delta_{\text{пр}}(S)}{S} + \frac{\Delta_{\text{пр}}(t)}{t} + \frac{\Delta_{\text{пр}}(T_0)}{T} \right). \quad (50)$$

А с учетом справочных данных, приведенных в таблице 10 находим

$$\frac{\Delta_{\text{пр}}(W)}{W} = \pm(0,25 + 0,25 + 0,55 + 0,55) = \pm 1,6 (\%).$$

Таблица 10 – Предельные ошибки при некоторых способах измерений

Способ измерения, прибор	Предельная ошибка, % к верхнему (наибольшему) пределу измерений
1. Стальная 20-метровая лента	0,20 – 0,30
2. Угломеры оптические	0,40 – 0,70
3. Весы:	
торговые и автомобильные	0,80 – 1,20
технические	0,10 – 0,20
аналитические	0,0001 – 0,01
4. Динамометры тяговые:	
пружинные	1,00 – 3,50
гидравлические	0,50 – 2,50
электрические	0,20 – 0,50
5. Стандартные секундомеры	0,40 – 0,70
6. Ручные технические термометры	0,30 – 2,00
7. Газоанализаторы с поглощением	0,50 – 5,00
8. Газоанализаторы хроматографические	0,10 – 2,00
9. Ртутные манометры	1,00 – 2,50
10. Фотометры	0,05 – 2,00

Любые практически постоянные величины в тождественных условиях лучше измерять несколько раз и использовать среднее арифметическое этих измерений. В теории ошибок доказывается, что чем больше число измерений, тем меньше будет случайная ошибка средней величины. Вместе с тем неизбеж-

но возникает вопрос о необходимом количестве опытов (или измерений), которые необходимо провести, чтобы получить результат с заданной надежностью. Для практического использования ниже приведена таблица 11, на основании которой, определяется необходимое число повторений опытов для того, чтобы получить результат с заданной надежностью.

Указываемая в этой таблице ошибка Δ зависит от точности средства измерений и от количества измерений. Как показывают исследования, для достижения нужной надежности целесообразнее увеличивать точность измерительных средств, а не количество измерений.

Таблица 11 – К определению необходимости числа опытов (измерений)

Ошибка Δ	Надежность опыта H							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	48	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	19	29	43	70	99	171	277
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	659	1084	1540	2059	4338
0,01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

В таблице 11 ошибка Δ берется в долях стандарта σ , который определяется по известной формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 / (n - 1)}, \quad (51)$$

где n – число опытов (измерений).

Что касается выбора надежности H , то каких-либо правил нет. Достаточно часто используется надежность $H = 0,95$. Если же устанавливаются в ходе опытов какие-либо величины, используемые в дальнейшем для проведения расчетов, относящихся к опасным производственным объектам, то целесообразно принять $H = 0,99$.

В технических измерениях обычно принимается в качестве наибольшей ошибки средней арифметической многократных измерений абсолютная величина $\Delta_{\text{пр}}(\bar{a})$, равная

$$\Delta_{\text{пр}}(\bar{a}) = \pm 3\sigma. \quad (52)$$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3, 7, 9, 10].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Что позволяет определить выражение (48)?
2. Как определяется ошибка произведения двух опытных величин?
3. В каком диапазоне находится предельная ошибка стандартного секундомера?
4. Какова будет предельная относительная ошибка опыта, результат которого определяется через произведение трех измеряемых в опыте величин: масса (в опыте используются технические весы), время (используется стандартный секундомер), давление (используется ртутный манометр)?
5. В каких случаях целесообразно принимать надежность $H = 0,99$?

Рекомендуемая литература по теме 8: [3, 7, 9, 10].

Тема 9. Эргономические методы исследований

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ сидя
- 2) Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ стоя

Методические указания по проведению занятия

При проектировании средств отображения информации акустические индикаторы (звонки, зуммеры, гудки) нужно использовать тогда, когда зрительный канал перегружен, ограничена видимость, большая пространственная протяженность рабочей зоны, трудовая деятельность характеризуется повышенной монотонностью.

Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ сидя и стоя приведены в ГОСТ 12.2.032 и ГОСТ 12.2.033 соответственно. Выполнение работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной большой величине рабочей зоны. Рабочее место (и сидя, и стоя) должно обеспечивать выполнение трудовых операций и действий в пределах зоны досягаемости моторного поля. При работе стоя зона досягаемости моторного поля в вертикальной плоскости составляет от 0,7 до 1,9 м, в горизонтальной плоскости – 0,6 – 0,8 м, при работе сидя 0,4 – 1,5 м и 0,5 – 0,7 м соответственно.

Конструкцией оборудования и организацией рабочих мест должно обеспечиваться оптимальное положение работника с помощью регулирования рабочей поверхности, регулирования рабочих стульев, применения подставок для ног.

При работе стоя и росте человека 160 см оптимальная высота размещения средств отображения информации – 130 см, при росте 170 см – 142 см, при росте 180 см – 147 см. Средняя высота расположения средств отображения информации при работе стоя для женщин 132 см, мужчин – 141 см.

В процессе проектирования и размещения оборудования при невозможности регулирования высоты рабочей поверхности и подставки для ног следует руководствоваться данными ГОСТ 12.2.033 (таблица 12). При определении высоты рабочих поверхностей учитывают как пол работника, так и категорию работ по тяжести (ГОСТ 12.1.005).

Важное значение имеет номограмма, приведенная на рисунке 2. Она позволяет определять высоту расположения средств отображения информации и высоту рабочих поверхностей с учетом роста конкретного работника и тяжести выполняемых работ. При тяжелой работе высота рабочих поверхностей должна быть ниже.

Таблица 12 – К определению высоты рабочих поверхностей

Категория работ	Высота рабочей поверхности, мм, при организации рабочего места		
	женщин	мужчин	женщин и мужчин
Легкая	990	1060	1025
Средняя	930	980	955
Тяжёлая	870	920	895

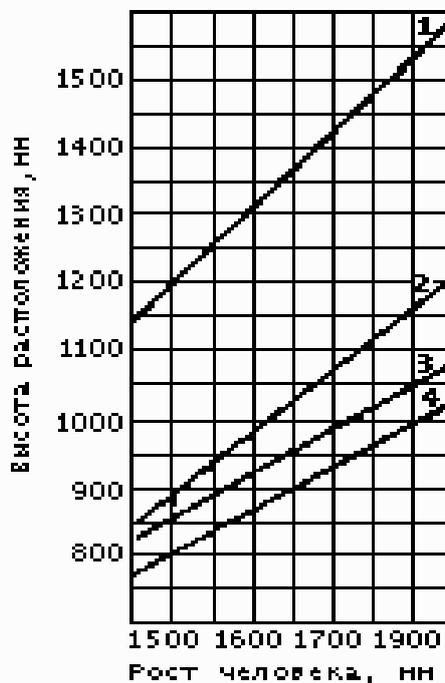


Рисунок 2 – Зависимость высоты расположения средств отображения информации (1) и рабочей поверхности (2 – при легкой работе; 3 – при работе средней тяжести; 4 – при тяжелой работе) от роста человека

При проектировании рабочих мест важно учитывать также частоту выполнения трудовых операций – см. рисунки 3 и 4. Если трудовые операции вы-

полняются очень часто (две и более операции в 1 мин), то их следует выполняться в пределах оптимальной зоны моторного поля (зона 1), если трудовые операции выполняют очень часто ((две и более операции в 1 мин., но не более двух операций в 1 ч), то их нужно выполняться в зоне 2 легкой досягаемости, при редком выполнении (не более двух операций в 1 ч) может использоваться зона 3.

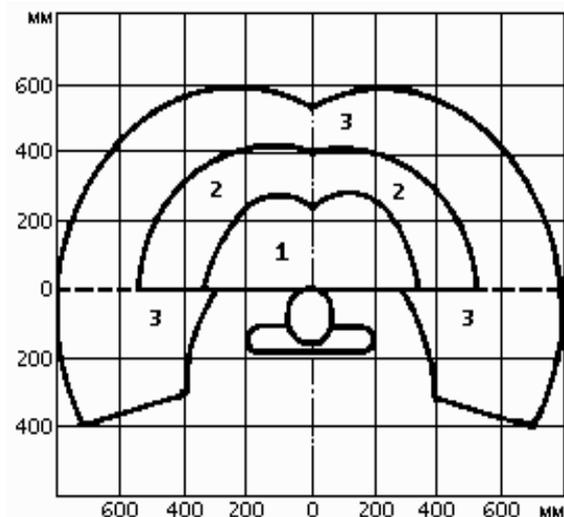


Рисунок 3 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в горизонтальной плоскости при работе стоя (размеры даны в миллиметрах)

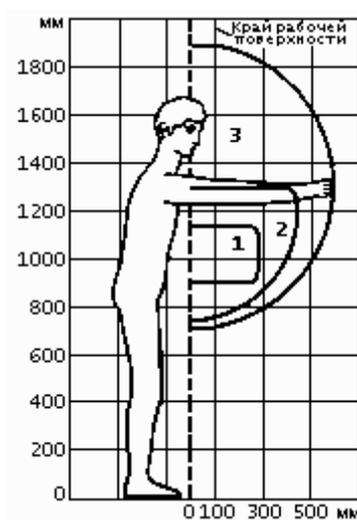


Рисунок 4 – Зоны для выполнения трудовых операций и размещения органов управления в вертикальной плоскости при работе стоя (размеры даны в миллиметрах)

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [3].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. Какими стандартами безопасности установлены эргономические требования?
2. В каких ситуациях следует использовать в качестве средств отображения информации акустические индикаторы?
3. Что учитывается при определении оптимальной высоты расположения рабочих поверхностей?
4. В каких случаях рабочие операции и соответствующие рабочие органы необходимо располагать в пределах оптимальной зоны моторного поля?
5. Правильно ли спроектировано рабочее место, на котором в течение 1 мин выполняется пять трудовых операций, а рабочий орган машины (дисковый нож) располагается на расстоянии 400 мм от края рабочего стола?

Рекомендуемая литература по теме 9: [3].

Тема 10. Методы анализа опасностей технических систем

Форма проведения занятия – лекция

Вопросы для обсуждения

- 1) Предварительный анализ опасностей
- 2) Анализ последствий отказов
- 3) Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе
- 4) Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе
- 5) Анализ опасностей методом потенциальных отклонений
- 6) Причинно-следственный анализ

Методические указания по проведению занятия

Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-чепе, чепе-инициаторы, последовательность развития событий, вероятности чепе, величину риска, величину последствий, пути предотвращения чепе и смягчения последствий.

На практике анализ опасностей начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Т.е. анализ риска технической системы начинают с применения метода предварительного анализа опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены, и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуемой цели, предназначения объекта и его сложности.

Качественные методы анализа включают: предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей с помощью дерева причин, анализ опасностей с помощью дерева последствий, анализ опасностей ме-

тодом потенциальных отклонений, анализ ошибок персонала, причинно-следственный анализ.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) обычно осуществляют в следующем порядке:

- 1) изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, а также используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы; устанавливают их повреждающие свойства;
- 2) устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;
- 3) проверяют техническую документацию на её соответствие законам, правилам, принципам и нормам стандартов безопасности;
- 4) составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей (системы, подсистемы, компоненты), повреждающие факторы, потенциальные чепе, выявленные недостатки.

Анализ последствий отказов (АПО) основан на системном подходе и имеет характер прогноза. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта. АПО обычно осуществляют в следующем порядке:

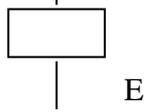
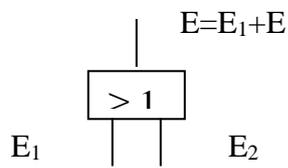
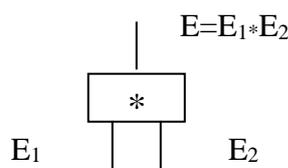
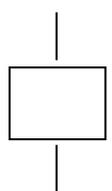
- 1) техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;
- 2) для каждого компонента выявляют возможные отказы;
- 3) изучают потенциальные чепе, которые может вызвать тот или иной отказ на исследуемом техническом объекте;
- 4) результаты записывают в виде таблицы;
- 5) отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предварительные меры, включая конструкционные изменения.

Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе (АОДП) обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбирают потенциальное чепе (например, н-чепе или какой-либо отказ, который может привести к н-чепе). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к данному чепе (системы, подсистемы, события, связи и т.д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина этого графа занумерована потенциальным чепе. Поэтому граф является деревом. При построении дерева можно использовать символы, представленные в таблице 13.

Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе (АОДПО) отличается от АОДП тем, что в случае АОДПО задается потенциальное чепе – инициатор, и исследуют всю группу событий – последствий, к которым оно может привести. Этот анализ можно проводить на любом объекте. Он требует хорошее знание объекта. Поэтому перед тем, как проводить АОДПО, необходимо тщательно изучить объект, вспомогательное оборудование, пара-

метры окружающей среды, организационные вопросы. Для построения дерева последствий можно использовать символы, представленные в таблице 14.

Таблица 13 – Символы для построения дерева причин потенциального чепе

№ п/п	Элемент и его символ	Комментарий
1	Вход 	Элемент «вход» обозначает соответствующее чепе
2	Элемент НЕ 	Элемент «НЕ» обозначает ненаступление события
3	Элемент ИЛИ 	Элемент ИЛИ может меть любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении хотя бы одного из событий E _i . Для получения логической формулы чепе обозначают +
4	Элемент И 	Элемент И может иметь любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении всех событий E _i . Для получения логической формулы чепе обозначают *
5	Ремарка 	Элемент служит для описания входа, выхода, логических связей

Метод потенциальных отклонений (МПО) – процедура искусственного создания отклонений с помощью ключевых слов. Этим методом анализируют опасности герметичных процессов и систем. Наибольшее распространение он получил в химической промышленности. Этому методу предшествует ПАО. После того, как с помощью ПАО были установлены источники опасностей (системы, чепе), необходимо выявить те отклонения, которые могут привести к этим чепе. Для этого разбивают технологический процесс или герметичную систему на составные части. Создавая с помощью ключевых слов (таблица 15) отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике.

Таблица 14 – Символы для построения дерева последствий потенциального чепе

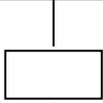
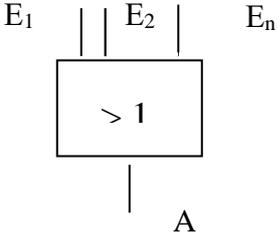
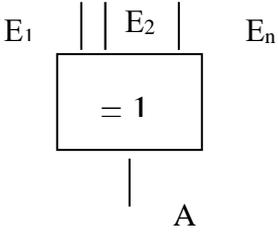
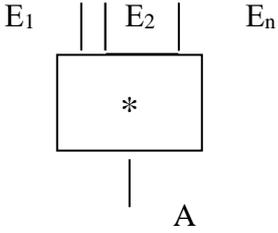
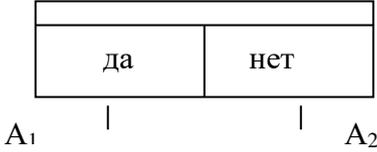
№ п/п	Символ	Комментарий
1		Запись чепе
2		Задержка во времени
3		Элемент для неисключающих друг друга чепе (ИЛИ). Чепе А происходит, когда происходит одно чепе или больше из совокупности E_1, E_2, \dots, E_n
4		Элемент для взаимно исключающих друг друга чепе. Чепе А происходит, когда происходит одно и только одно чепе из совокупности E_1, E_2, \dots, E_n
5		Элемент И. Чепе А происходит, если имеют место все чепе E_1, E_2, \dots, E_n
6		Разветвление простое: если наступит событие A_1 , то чепе Е произойдет; если наступит событие A_2 , то чепе Е не произойдет

Таблица 15 – Ключевые слова

Ключевые слова	Их значение (смысл)
НЕ или НЕТ	Полное отрицание предназначения используемого объекта или какой-либо его функции
ЕЩЕ БОЛЕЕ, ЕЩЕ МЕНЕЕ	Количественное увеличение или количественное уменьшение
НЕ ТОЛЬКО, НО ТАКЖЕ	Качественное увеличение
ЧАСТИЧНО (ОТЧАСТИ)	Качественное уменьшение
РЕВЕРС, ПЕРЕМЕНА НАПРАВЛЕНИЯ	Логическая противоположность предназначенной функции
ДРУГОЙ ЧЕМ	Полная замена предназначения исследуемого объекта

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего чепе. Тем не менее ПСА является составной частью общего анализа опасностей. Он завершается прогнозом новых чепе и составлением плана мероприятий по их предупреждению. Составляют перечень событий, предшествовавших чепе. Перечень может содержать достаточно большое число событий, предшествовавших чепе, и по нему трудно дать заключение. В этом случае целесообразно построить ориентированный граф – дерево причин. Построение начинают с последней стадии развития событий, а именно, с чепе-несчастья. По каждому предшествующему событию последовательно ставят следующие вопросы. Каким предшествующим событием X было непосредственно вызвано событие Y? Достаточно ли было одного события X, чтобы вызвать Y? Если нет, то какие предшествующие другие события X_1, X_2, \dots, X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y? Логическая структура дерева причин такова, что при отсутствии хотя бы одного из предшествующих событий н-чепе произойти не может. Это является хорошей основой для того, чтобы сформулировать предупредительные меры с целью: а) исключить повторение н-чепе данного типа; б) избежать более или менее аналогичных н-чепе.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [8].

Вопросы для самоконтроля к занятию

1. В чем заключается предварительный анализ опасностей?
2. Что такое анализ последствий отказов (АПО)?
3. Чем отличается метод анализа опасностей с помощью дерева причин от метода анализа опасностей с помощью дерева последствий?
4. Что включает в себя анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО)?
5. В чем заключается метод причинно-следственного анализа?
6. Особенности метода анализа опасностей с помощью потенциальных отклонений.

Рекомендуемая литература по теме 10: [8].

2. Методические указания по выполнению контрольной работы

Контрольная работа (одна) пишется после изучения всего материала дисциплины. Работа состоит из подготовки ответов на два вопроса и охватывает все разделы дисциплины. Варианты заданий (вопросов) выбирают по таблице, ориентируясь на сумму двух последних цифр и последнюю цифру шифра. Например, учебный шифр студента 25-ЗТБ/м-1624. В этом случае нужно ответить на вопросы 5, 25 (см. таблицу 16).

Контрольную работу нужно выполнять аккуратно, не допускаются произвольные сокращения слов. В левой стороне листа нужно оставлять поле шириной 30 мм. Ответы на вопросы должны быть полными, со ссылками на использованную литературу и нормативные акты. Для ссылок используйте квадратные скобки. В конце работы нужно привести полный список всех использованных источников. Рекомендуется использовать, помимо источников, приведенных в настоящих методических указаниях, любую другую новейшую литературу и нормативные акты.

Приводимые рисунки и схемы нужно нумеровать и снабжать подрисовочными подписями. Например: Рисунок 3 – Схема защитного заземления. Таблицы, рисунки, схемы размещайте сразу после первого упоминания о них в тексте.

В формулах нужно указывать расшифровки всех буквенных обозначений. Все используемые единицы измерения должны соответствовать системе СИ.

При подготовке ответов на вопросы используйте, прежде всего, литературу, указанную к той теме дисциплины, к которой ближе всего относятся данные вопросы.

Таблицы 16 – Варианты заданий

Сумма двух последних цифр шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10-18	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Вопросы для контрольной работы.

- 1) Истинные и актуальные проблемы техносферной безопасности.
- 2) Возможные виды исследований в области безопасности техносферы.
- 3) Основные этапы проведения исследования.
- 4) Общенаучные принципы, при следовании которым можно с большей вероятностью рассчитывать на успех исследования.

- 5) Содержание постановочного этапа исследований в техносферной безопасности.
- 6) Обобщенные показатели эффективности исследований в техносферной безопасности.
- 7) Сущность группового метода анализа показателей производственного травматизма.
- 8) Сущность операционного метода анализа производственного травматизма.
- 9) Сущность монографического метода анализа производственного травматизма.
- 10) Сущность метода статистических контрольных карт анализа производственного травматизма.
- 11) Сущность топографического метода анализа производственного травматизма.
- 12) Метод экспертных оценок.
- 13) Задачи в области техносферной безопасности, исследуемые методами экспертных оценок.
- 14) Первичные методы математико-статистического анализа.
- 15) Статистические методы проверки гипотез.
- 16) Сущность корреляционного анализа.
- 17) В чем заключается сущность регрессионного исчисления.
- 18) Общие положения геометрического программирования.
- 19) Степень трудности задачи геометрического программирования.
- 20) Двойственная задача геометрического программирования.
- 21) Основные положения линейного программирования.
- 22) Определение сроки выполнения профилактических мероприятий с помощью метода линейного программирования.
- 23) Особенности задач, исследуемых с помощью динамического программирования.
- 24) Принцип оптимальности, используемый в динамическом программировании.
- 25) Форма записи исходных данных для разработки оптимальной программы снижения травматизма с помощью динамического программирования.
- 26) Что понимается под эффективностью предупредительно-профилактических мероприятий?
- 27) Определение ошибки опыта.
- 28) Определение необходимого количества опытов (или измерений).
- 29) Какими стандартами безопасности установлены эргономические требования?
- 30) Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ сидя.
- 31) Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ стоя.

- 32) Общая характеристика методов анализа опасностей технических систем.
- 33) В чем заключается предварительный анализ опасностей?
- 34) Сущность анализ последствий отказов (АПО).
- 35) В чем заключается метод анализа опасностей с помощью дерева причин.
- 36) В чем заключается метод анализа опасностей с помощью дерева последствий.
- 37) Что включает в себя анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО).
- 38) В чем заключается метод причинно-следственного анализа.
- 39) Сущность метода причинно-следственного анализа.
- 40) Чем отличается метод анализа опасностей с помощью дерева причин от метода анализа опасностей с помощью дерева последствий?

3. Методические указания по подготовке и сдаче экзамена

Форма проведения экзамена – устная или в виде тестирования.

Вопросы к экзамену по дисциплине.

- 1) Понятие проблемы. Актуальные проблемы техносферной безопасности. Их специфика.
- 2) Источники и стимулы исследований в техносферной безопасности.
- 3) Виды исследований и постановка работ исследовательского характера в техносферной безопасности.
- 4) Основные этапы в проведении работ исследовательского характера.
- 5) Обобщенные показатели эффективности научных исследований в техносферной безопасности.
- 6) Порядок изучения текущего состояния исследований и практических разработок по проблеме.
- 7) Порядок изучения нормативных требований техносферной безопасности. Их значение при проведении исследований.
- 8) Оформление результатов научного исследования.
- 9) Методы экспертных оценок. Области применения в техносферной безопасности.
- 10) Первичные методы математико-статистического анализа условно, их определение.
- 11) Методы статистической проверки гипотез. Применения в техносферной безопасности.
- 12) Общая характеристика методов изучения состояния производственного травматизма и заболеваемости работников.
- 13) Метод статистических контрольных карт и его применение.
- 14) Метод изучения динамики показателей состояния техносферной безопасности.

- 15) Общая характеристика методов математического программирования. Области их применения.
- 16) Общие положения линейного программирования и его применение в техносферной безопасности.
- 17) Общие положения геометрического (полиномиального) программирования и его применение в техносферной безопасности
- 18) Прямая программа геометрического программирования. Степень трудности.
- 19) Двойственная программа геометрического программирования.
- 20) Общие положения динамического программирования и его применение в техносферной безопасности.
- 21) Эргономические методы исследований в техносферной безопасности. Их применение.
- 22) Точность экспериментальных исследований. Число опытов (измерений).
- 23) Предварительный анализ опасностей технических систем.
- 24) Анализ последствий отказов технических систем.
- 25) Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе.
- 26) Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе.
- 27) Анализ опасностей методом потенциальных отклонений.
- 28) Причинно-следственный анализ.

4. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы по дисциплине

Дисциплина «Методы исследования процессов и явлений в техносфере» – одна из важных дисциплин, определяющих уровень профессиональной подготовки будущего специалиста по охране труда. Это достаточно сложная дисциплина, для освоения которой необходимы знания математики, физики, безопасности жизнедеятельности, охраны труда. В содержании дисциплины ведущая роль принадлежит моделям, относящимся к обеспечению безопасности, математико-статистическим методам. Знание этого материала позволяет быстрее изучить содержание отдельных направлений обеспечения техносферной безопасности – производственной, пожарной, защиты населения и территорий в условиях чрезвычайных ситуаций. Своевременное выявление и устранение опасных и вредных факторов, минимизация их опасного и вредного действия – одна из важнейших задач специалистов по техносферной безопасности.

Рекомендуется посещение всех видов занятий, ведение конспектов, что, как показывает опыт, способствует более полному и прочному освоению дисциплины.

В процессе подготовки к лабораторным занятиям студенты должны использовать материалы лекций, литературу и нормативные документы, заранее указываемые преподавателем. Лабораторные занятия проводятся в форме ис-

следования моделей с использованием ПЭВМ. Все исследованные модели в конце семестра предъявляются преподавателю. Ответы студентов по лабораторным работам оцениваются и учитываются при промежуточной аттестации по дисциплине.

Самостоятельная работа студентов заключается также в повторении теоретического материала, подготовке к лабораторным занятиям, подготовке к тестированию и к экзамену по дисциплине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии в наиболее доступных формах изложен достаточно сложный материал. Учебно-методическое пособие написано и построено таким образом, чтобы студент самостоятельно мог разобраться в терминах, понятиях, теории вопроса и других нюансах дисциплины. Предназначено для помощи студентам в освоении практических навыков и умений.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ 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. 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>.
4. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Статистика, 1980. – 261 с.
5. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – 12-е изд., перераб. – Москва: Высшее образование, 2007. – 478 с.
6. Минько В.М. Математическое моделирование в охране труда / В.М. Минько. – Калининград: изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 248 с.
7. Гельруд, Я. Д. Теория ошибок и математическая обработка результатов экспертных исследований: учебное пособие / Я. Д. Гельруд. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019. – 55 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/146049>.
8. Управление рисками, системный анализ и моделирование: в 2 т. / П.Г. Белов. – Москва: Юрайт, 2018. – Т. 1. – 460 с.
9. Алексеева, Н. И. Методология и методы научных исследований: учебник / Н. И. Алексеева. – Донецк: ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2020. – 356 с.
10. Дмитриенко, Г. В. Методология и методы научных исследований: учебное пособие / Г. В. Дмитриенко, Д. В. Мухин. – Ульяновск: УлГТУ, 2021. – 225 с.
11. 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.
12. Методы обработки экспериментальных данных: учебное пособие / С. А. Гордин, А. А. Соснин, И. В. Зайченко, В. Д. Бердоносков. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГУ, 2022. – 75 с.

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ
В ТЕХНОСФЕРЕ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. 4,6 л. Печ. л. 3,6.

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