

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Т.И. Белова

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ  
И МОДЕЛИРОВАНИЕ»**

Брянская область  
2015

УДК 338.2:614.8 (07)

ББК 68.9:65

Б 43

Белова, Т.И. Методическое пособие по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование» / Т.И. Белова. - Брянск: Издательство Брянского государственного аграрного университета, 2015 г. – 319 с.

Методическое пособие разработано в соответствии с ФГОС ВО для обучения по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, профиль Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях и предназначено для изучения теоретического материала, проведения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование» и позволяет реализовать компетенции, представленные в учебном плане.

Пособие включает материала собственных научных исследований, проводимых для агропромышленного комплекса, тем самым может быть полезным для широкого круга специалистов, занимающимся вопросами обеспечения безопасности жизнедеятельности на объектах отрасли

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры  
«Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

*А.В.Титенок*

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического факультета, протокол №2 от 28 октября 2015 г.*

© Белова Т. И., 2015

© ФГОУ ВО Брянский ГАУ, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Практические работы по дисциплине.....	5
Практическая работа 1.....	5
Практическая работа 2.....	22
Практическая работа 3.....	57
2. Курс лекций по дисциплине.....	69
Лекция 1. Анализ и оценка рисков.....	69
Лекция 2. Понятие и сущность риска.....	114
Лекция 3. Системный анализ и моделирование систем и процессов.....	157
Лекция 4. Идентификация рисков.....	188
Лекция 5. Методы управления рисками.....	243
3. Материал для изучения самостоятельных работ.....	257

## Введение

Методическое пособие предназначено для обучения по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование» направления подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, профиль Безопасность жизнедеятельности и составлено автором с использованием достаточного количества литературных источников.

Методическое пособие состоит из трех частей: практические работы по дисциплине; курс лекций по дисциплине; материал для изучения самостоятельных работ.

В методическом пособии приводятся контрольные вопросы, список использованных литературных источников, а также необходимые выводы.

## 1. Практические работы по дисциплине

### Практическая работа 1

#### ПРОВЕДЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОСФЕРНЫХ СИСТЕМ

(на примере территорий и объектов экономики и регионов в РФ)

Цель работы. Изучение возможных причин возникновения аварий компрессорной установки. Изучение типовых сценариев возможных аварий.

1.1 Определение возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий

Возможные причины возникновения аварий компрессорной установки могут быть следующими:

- отказ оборудования;
- ошибки технического персонала;
- ошибки технического персонала;
- выход технологических параметров за критические значения (физический взрыв);
- повреждение оборудования и трубопроводов;
- диверсия, террористический акт или иное сильное внешнее воздействие.

Отказы в работе аммиачных насосов могут привести к нарушению теплового режима в контуре циркуляции, переполнению отделителей жидкости и возможному попаданию жидкости на всасывание компрессора. При наличии резервного насоса и правильных действиях персонала вероятность возникновения подобной аварии незначительна. Отказы в работе насосов оборотной воды также могут привести к нарушению режима работы холодильной установки, но опасности возникновения крупной аварии с выбросом аммиака не несут.

Разрушение компрессоров может быть вызвано повышением температуры нагнетания более 150°C из-за присутствия большого количества воздуха в системе, недостаточного количества жидкого аммиака в системе испарения, высокой температуры и недостаточного количества воды подаваемой на конденсатор. Повышение температуры нагнетания, по указанным причинам, может привести к повышению давления и разрушению компрессора с выбросом аммиака в помещение цеха. Понижение температуры нагнетания ниже 70°C из-за неисправной регулировки, переполнения отделителя жидкости и циркулярного ресивера может также привести к гидравлическому удару и разрушению компрессора. Кроме того, компрессоры могут разрушаться из-за вибрации и отказа маслосистемы.

Установленное в цехе компрессорное оборудование имеет достаточно надежную защиту, поэтому вероятность возникновения крупной аварии незначительна. Конденсаторы и ресиверы необходимо оснастить дистанционными сигнализаторами и датчиками верхнего предельного уровня.

Разгерметизация ресиверов, компрессоров и трубопроводов в компрессорном цехе может привести к выбросу до 1 тонны жидкого аммиака. В течение 2-5 секунд в виде пара может выделиться около 18% всей массы, что составляет примерно 324 кг. Остальное количество разлитого аммиака испарится в течение 60-80 минут с образованием поражающих концентраций. Воздействие на людей, находящихся в помещении, будет определяться правильностью действий персонала, временем включения аварийной вентиляции и кратностью воздухообмена. Наличие в производственном помещении сигнализаторов аварийной концентрации паров аммиака в рабочей зоне, заблокированных с аварийной вентиляцией, позволит предотвратить угрозу смертельного поражения персонала.

Наиболее крупный выброс аммиака в атмосферу (3 тонн) из технологического оборудования компрессорной установки возможен при полном разрушении ресиверов и конденсаторов. Это может иметь место лишь в результате масштабного внешнего воздействия или диверсии.

## 1.2 Определение типовых сценариев возможных аварий

В зависимости от агрегатного состояния аммиака в оборудовании и характера разрушения оборудования развитие аварийной ситуации может проходить по различным сценариям:

Вариант сценария аварии	Последовательность событий аварии
С-1	Пролив аммиака при дозаправке компрессорной установки > разлитие аммиака по подстилающейся поверхности => испарение аммиака с зеркала разлива с образованием вторичного облака => интоксикация людей.
С-2	Полное разрушение оборудования, находящегося в помещении и содержащего аммиак в газовом состоянии => выброс аммиака: образование токсичного (паро-газовоздушного) облака => взрыв парогазовоздушного облака в замкнутом пространстве => разрушение здания, оборудования, травмирование людей => распространение токсичного облака => интоксикация людей
С-3	Разрушение оборудования, содержащего аммиак в жидком состоянии => выброс аммиака: разлитие аммиака по подстилающейся поверхности с образованием первичного облака => испарение аммиака с зеркала разлива с образованием вторичного облака => интоксикация людей
С-4	Разрушение технологического оборудования => выброс аммиака, при наличии факторов, способствующих воспламенению => возгорание паро-газовоздушного облака => термическое воздействие продуктов горения, как поражающий фактор => возможен взрыв из-за перегрева рядом находящихся сосудов с аммиаком под давлением
С-5	Нарушение герметичности оборудования, содержащего аммиак => выброс аммиака: образование токсичного облака => интоксикация людей

Для первых двух сценариев характерно мгновенное поступление аммиака в окружающую среду, а также применимы они только для емкостного оборудования. Выход аммиака по третьему и четвертому сценариям может происходить как мгновенно, так и в течение некоторого времени. При аварии развивающейся по пятому сценарию, аммиак поступает в окружающую среду через отверстие площадью  $S$  в течении некоторого времени. Развитие аварии по этому сценарию применимо как для емкостного оборудование, так и для трубопроводов.

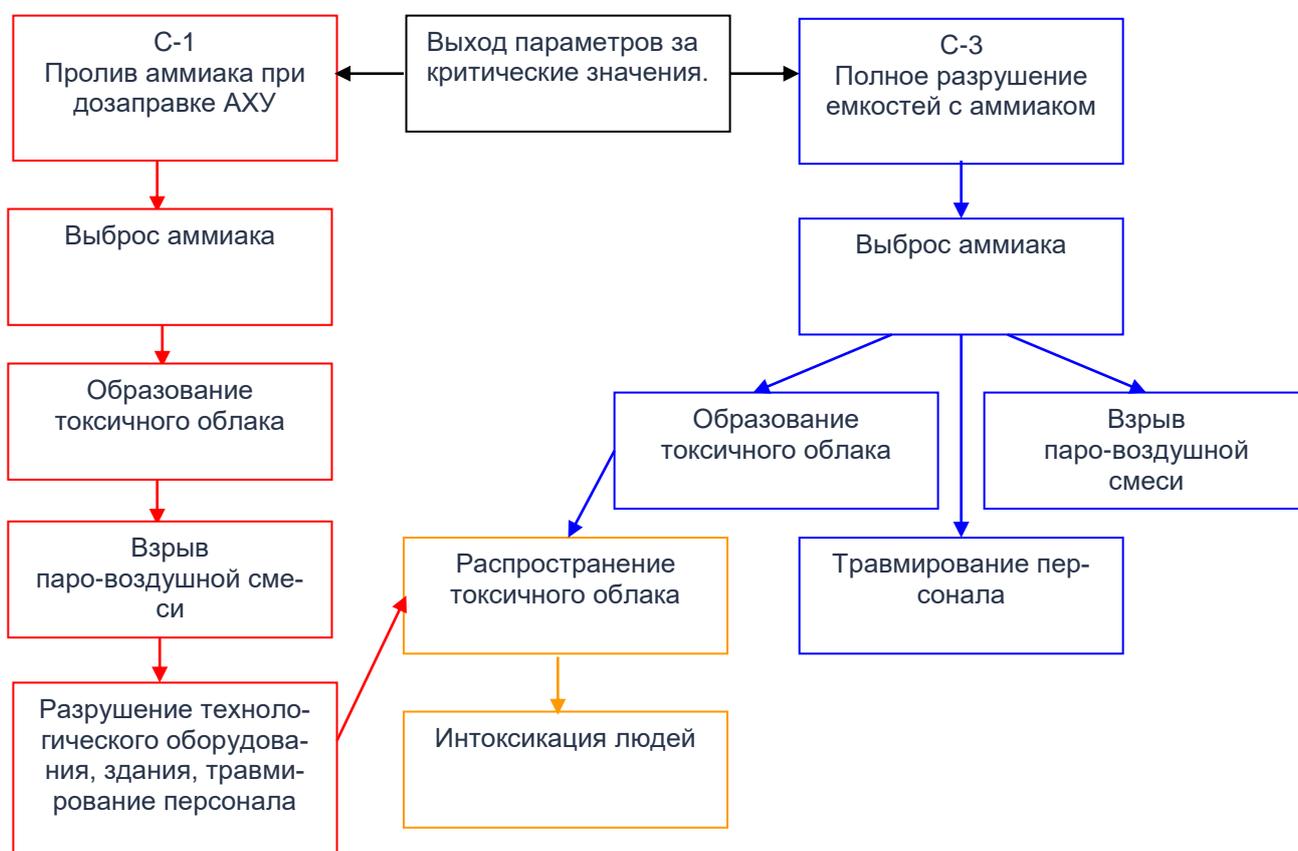


Рис. 3. Схема вероятных сценариев возникновения и развития аварии

### 1.3 Обоснование физико-математических моделей и методов расчета, применяемых при оценке риска

Для расчета степени риска использован основной документ РД 52.04.253-09 «Методика прогнозирования масштабов поражения ядовиты-

ми веществами при аварии на химически опасных объектах и транспорте», рекомендованный совместным приказом МЧС России и Госгортехнадзором России от 04. 04. 1996 года № 222/59.

#### 1.4 Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

При прогнозировании последствий применяются следующие допущения:

- емкости, содержащие аммиак разрушаются полностью;
- толщина слоя аммиака, разлившегося свободно по подстилающейся поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива;
- при аварии на трубопроводе величина выброса аммиака принимается равной его максимальному количеству, содержащемуся в нем между автоматическими отсекающими;
- предельное время пребывания людей в зоне заражения принимается 4 часам. Исходными данными для прогнозирования являются:
- общее количество аммиака на ОХО и данные по его размещению в емкостях и технологических трубопроводах;
- количество аммиака, выброшенного в атмосферу, и характер его выхода;
- токсические свойства аммиака;
- метеорологические условия (при заблаговременном прогнозе принимают, что скорость ветра равна 1 м/с, состояние атмосферы - инверсия).

Прогнозирование последствий заключается в определении размеров зоны возможных поражений, степени поражения людей и разрушению объектов.

Можно предположить, что наиболее вероятным из перечисленных выше сценариев развития аварийной ситуации будет С-3, а наиболее опасным по своим последствиям будет являться С-1.

## 1.5 Расчет наиболее опасного сценария

эквивалентное количество вещества в первичном облаке АХОВ

$$Q_{\text{Э1}} = 0,036 \text{ т}$$

время испарения аммиака

$$T = 0,05 \times 0,681 / 0,025 \times 1 \times 1 = 1,36 \text{ ч.} = 81 \text{ мин.}$$

эквивалентное количество АХОВ во вторичном облаке

$$Q_{\text{Э2}} = 0,12$$

глубины зон заражения составят:

$$\Gamma_1 = 0,69 \text{ км}$$

$$\Gamma_2 = 1,35 \text{ км}$$

$$\Gamma_{\text{н}} = 1,69 \text{ км}$$

Глубина заражения по истечении 1 часа после начала аварии не будет превышать 1,69 км.

Площадь фактического заражения может составить

$$S_{\text{ф}} = 0,23 \text{ км}^2$$

Таким образом, имеем следующие характеристики наиболее опасного сценария развития ЧС на объекте.

Таблица 5

Показатели степени риска для персонала и населения при наиболее опасном сценарии развития чрезвычайных ситуаций:	Значения
частота наиболее опасного сценария развития чрезвычайных ситуаций, год <sup>-1</sup> ;	2,3x10 <sup>-3</sup>
количество опасного вещества, участвующего в реализации наиболее вероятного сценария, тонн, м <sup>3</sup> /Ки;	
возможное количество погибших среди персонала, чел.;	5 т
возможное количество пострадавших среди персонала, чел.;	10
возможное количество погибших среди населения, чел.;	120
возможное количество пострадавших среди населения, чел.;	2
возможное количество населения, у которого могут быть нарушены условия жизнедеятельности с учетом воздействия вторичных факторов поражения и вредного воздействия на окружающую среду, чел.;	145
величина возможного ущерба, руб.	185 до 1 500 000

Таблица 6

Размеры зон действия поражающих факторов при наиболее опасном сценарии развития чрезвычайных ситуаций:	Значения
площадь зон действия поражающих факторов при реализации наиболее опасного сценария развития чрезвычайных ситуаций, м <sup>2</sup> .	2,3 x10 <sup>3</sup>
количество разрушенных или поврежденных зданий, сооружений или технологического оборудования в зонах действия поражающих факторов при реализации наиболее опасного сценария развития ситуаций	
слабые разрушения, %	14,0
средние разрушения, %	5,0
сильные разрушения, %	0
полные разрушения, %	0

## 1.6 Расчет наиболее вероятного сценария

эквивалентное количество вещества в первичном облаке АХОВ

$$Q_{э1} = 0,018 \text{ т}$$

время испарения аммиака

$$T = 0,05 \times 0,681 / 0,025 \times 1 \times 1 = 1,36 \text{ ч.} = 81 \text{ мин.}$$

эквивалентное количество АХОВ во вторичном облаке

$$Q_{э2} = 0,06 \text{ т}$$

глубины зон заражения составят:

$$Г1 = 0,47 \text{ км}$$

$$Г2 = 0,93 \text{ км}$$

$$Гн = 1,16 \text{ км}$$

Глубина заражения по истечении 1 часа после начала аварии не будет превышать 1,16 км.

Площадь фактического заражения может составить

$$S_{ф} = 0,11 \text{ км}^2$$

Таким образом, имеем следующие характеристики наиболее вероятного сценария развития ЧС на объекте.

Таблица 7

Показатели степени риска для персонала и населения при наиболее вероятном сценарии развития чрезвычайных ситуаций:	Значения
частота наиболее вероятного сценария развития чрезвычайных ситуаций, год <sup>-1</sup> ;	2,1x10 <sup>-3</sup>
количество опасного вещества, участвующего в реализации наиболее вероятного сценария, тонн, м <sup>3</sup> /Ки;	2,5 т
возможное количество погибших среди персонала, чел.;	3
возможное количество пострадавших среди персонала, чел.;	60
возможное количество погибших среди населения, чел.;	-
возможное количество пострадавших среди населения, чел.;	-
возможное количество населения, у которого могут быть нарушены условия жизнедеятельности с учетом воздействия вторичных факторов поражения и вредного воздействия на окружающую среду, чел.;	-
величина возможного ущерба, руб.	до 800 000

Таблица 8

Размеры зон действия поражающих факторов при наиболее вероятном сценарии развития чрезвычайных ситуаций:	Значения
площадь зон действия поражающих факторов при реализации наиболее вероятного сценария развития чрезвычайных ситуаций, м <sup>2</sup> .	1,1x10 <sup>3</sup>
количество разрушенных или поврежденных зданий, сооружений или технологического оборудования в зонах действия поражающих факторов при реализации наиболее опасного сценария развития ситуаций	
слабые разрушения, %	-
средние разрушения, %	-
сильные разрушения, %	-
полные разрушения, %	-

## 1.7 Прогнозирование количества пораженных среди персонала и населения оказавшегося в зоне заражения

Основными факторами, влияющими на количество пораженных, являются:

1. Различный характер воздействия на людей первичного и вторичного облака.
2. Количество населения, оказавшегося в зоне возможного заражения и степень их защищенности.

Воздействие первичного и вторичного облака на людей заключается в том, что первичное облако имеет большую концентрацию паров аммиака, но по времени воздействия не продолжительно (несколько минут), а вторичное облако при более низкой концентрации паров аммиака имеет значительно большее время воздействия в районе аварии (более 1 часа).

Количество населения, попадающего в зону заражения (N, чел.), рассчитывается по формуле

$$N=P*S_{\phi}$$

где:

P – плотность населения в, чел/км<sup>2</sup>;

S<sub>φ</sub> – фактическая зона заражения, км<sup>2</sup>

Расчетные данные по количеству возможное пострадавшего населения и персонала объекта при:

Вариант сценария аварии	через 1 час	
	население	персонал
	погибших	
С-1	2	10
С-3	-	3
	пострадавших	
С-1	145	120
С-3	-	60

Для определения пострадавших по различным степеням тяжести поражения считаем, что:

Глубиной зоны смертельного поражения  $\Gamma_{\text{см}} = 0,3 \times \Gamma$

Глубиной зоны тяжелой и средней степени поражения  $\Gamma_{\text{т/ср}} = 0,5 \times \Gamma$

Глубиной зоны легкой степени поражения  $\Gamma_{\text{лег}} = 0,7 \times \Gamma$

При С-1

$$\Gamma_{\text{см}} = 0,3 \times \Gamma = 0,51 \text{ км}$$

$$\Gamma_{\text{т/ср}} = 0,5 \times \Gamma = 0,85 \text{ км}$$

$$\Gamma_{\text{лег}} = 0,7 \times \Gamma = 1,18 \text{ км}$$

При С-3

$$\Gamma_{\text{см}} = 0,3 \times \Gamma = 0,35 \text{ км}$$

$$\Gamma_{\text{т/ср}} = 0,5 \times \Gamma = 0,58 \text{ км}$$

$$\Gamma_{\text{лег}} = 0,7 \times \Gamma = 0,81 \text{ км}$$

## 1.8 Оценка возможного ущерба

При развитии аварии по сценарию С-1 возможен следующий ущерб:

- расходы, связанные с локализацией последствий разлива аммиака;
- расходы, связанные с причинением ущерба окружающей среде;
- расходы, связанные с социально-экономическими последствиями;
- ущерб в результате уничтожения (повреждения) фондов предприятия;
- расходы, связанные с ремонтно-восстановительными работами;
- убытки из-за упущенной экономической выгоды;
- убытки, понесенные другими близлежащими организациями.

При развитии аварии по сценарию С-3 возможен следующий ущерб:

- стоимость пролитого аммиака;
- расходы, связанные с локализацией последствий разлива аммиака;
- расходы, связанные с причинением ущерба окружающей среде;
- расходы, связанные с социально-экономическими последствиями

В денежном эквиваленте стоимость возможного ущерба при аварии по сценарию С-1 составит приблизительно около 1 500 000 рублей.

При С-3 сумма станет равной приблизительно – 800 000 рублей

### 1.9 Оценка риска аварий

К основным типам разгерметизации технологических трубопроводов следует отнести образование протяженных трещин и разрывов с эквивалентным диаметром более 10 мм. Вероятность такой разгерметизации трубопровода в химической промышленности составляет в среднем  $2 \times 10^{-6}$  на 1 метр в год. Частота аварий всей аммиакопроводной системы предприятия составит  $6,8 \times 10^{-4}$  в год.

Если частота разгерметизации одного фланцевого соединения составит около  $2 \times 10^{-5}$  в год, то вероятность аварийной разгерметизации хотя бы одного емкостного аппарата с аммиаком составит:  $24 \times 2 \times 10^{-5} = 4,8 \times 10^{-4}$  в год, где 24 - среднее число фланцевых соединений емкостного аппарата.

Опасности, связанные со сливно-наливными операциями при заполнении аммиаком холодильной системы, вызваны низким уровнем механизации и автоматизации данной операции. Дозаправка производится из автоцистерны. При авариях в зоне смертельных поражений могут оказаться рабочие компрессорного цеха, которые будут находиться в момент аварии в непосредственной близости от источника разгерметизации. За медицинской помощью могут обратиться работники вспомогательных цехов и холодильника. На предприятии данной операции уделяется достаточно серьезное внимание: разработана специальная инструкция, операция выполняется только в средствах защиты под руководством инженерно-технических работников. При соблюдении такого порядка вероятность аварии мала и не будет превышать  $2 \times 10^{-3}$  в год.

С учетом месторасположения данного предприятия, вероятность воздействия таких внешних опасностей, как смерч, ураган, аварии на комму-

нально-энергетических сетях, понижение температуры воздуха, снежные заносы может быть порядка  $1,0 \times 10^{-6}$  -  $1,0 \times 10^{-5}$  в год. Эти внешние опасности могут вызвать остановку производства, но они не станут причиной крупной аварии.

Вероятность повреждения аппаратного оформления аммиачной установки, вызванного дефектами материала, недостатками конструкции, коррозией, ошибками монтажа и наладки лежит в пределах  $1,0 \times 10^{-4}$  -  $6,0 \times 10^{-4}$  в год.

Возможность аварийных ситуаций из-за неполадок технических средств измерения технологических параметров, приборов контроля, сигнализации, составляет  $8,0 \times 10^{-4}$  -  $1,0 \times 10^{-3}$  в год.

Интенсивность отказов технологического оборудования, приборов, магистральных трубопроводов взята из анализа статистических данных, опыта эксплуатации и мнения специалистов.

Влияние ошибок обслуживающего и ремонтного персонала на возможность возникновения аварийных ситуаций лежит в пределах  $1,0 \times 10^{-3}$  -  $2,0 \times 10^{-3}$  в год.

С учетом указанных выше вероятностных оценок разрушения ресивера, аммиакопроводов, риска заправки системы аммиаком, ошибок обслуживающего персонала и других аварийных ситуаций, вероятность крупной аварии на объекте будет порядка

$3,2 \times 10^{-3}$  -  $3,8 \times 10^{-3}$  в год. Эта величина соответствует среднему периоду безаварийной эксплуатации объекта (280 лет), что отвечает уровню риска аварий на химически опасных предприятиях.

Для прогнозирования масштабов заражения взят наиболее опасный сценарий развития аварии. Зоны заражения рассчитаны по Методике прогнозирования масштабов поражения ядовитыми веществами при аварии на химически опасных объектах и транспорте (РД 52. 04. 253-90, утв. ШГО СССР), рекомендованной совместным приказом МЧС России и Госгортехнадзором России от 04 апреля 1996 года № 222/59

При полном разрушении линейного ресивера ЛР-2,5 (наибольшей единичной ёмкости) может произойти выброс 2,5 т аммиака и глубина заражения составит по истечении 1 часов более 1,16 км.

**Метрологические условия - инверсия, температура воздуха +20 С°, скорость ветра - 1 м/с.**

**Аварии, вызванные разгерметизацией технологических трубопроводов и оборудования, смонтированных в производственном корпусе, опасны только для обслуживающего персонала.**

В случае разрушения емкостного оборудования, зона заражения в зависимости от скорости и направления ветра, может распространиться на цехи самого предприятия, ближайшие объекты, жилые кварталы.

В данном случае в зоне поражения могут оказаться производственный персонал объекта, работники соседних предприятий, население на прилегающей территории.

Риск поражения людей во многом будет зависеть от степени подготовки персонала объекта и населения к действиям в аварийной ситуации и наличия средств индивидуальной защиты.

Кроме того, аммиак обладает резким запахом, который уже при концентрациях ниже предельно допустимых послужит сигналом о надвигающейся опасности, возможности отравления и необходимости срочной эвакуации.

## **ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

Исходя из расчетных данных, предприятие следует отнести к умеренно опасному производственному объекту. Предприятие имеет лицензию на право эксплуатации опасного производственного объекта, страховой полис обязательного страхования при причинении вреда третьим лицам и окружающей природной среде, санитарно-эпидемиологическое заключение и разрешение на выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

Наиболее опасными составляющими опасного производственного объекта ОАО «Брянский молочный комбинат» являются сосуды, содержащие аммиак и находящиеся под давлением. Помимо сосудов есть компрессорные установки и технологические трубопроводы

Как показывает статистика, при всех особенностях аварии с аммиаком развиваются, как правило, по следующему сценарию:

1. Разгерметизация или разрушение емкости с аммиаком
2. Выброс (пролив) жидкого аммиака.
3. Образование загазованности в помещениях и на территории с возможной интоксикацией людей. Наиболее опасные последствия возможны в результате:

- разгерметизации линейных и циркуляционных ресиверов, аммиачных трубопроводов,
- неполадок при заправке (сливе) аммиака в систему,
- разгерметизации компрессорного оборудования.

Аварии, связанные с существенным разрушением или разгерметизацией емкостного оборудования приведут к выбросу аммиака с образованием токсичного облака и интоксикацией, как производственного персонала, так и населения

Выводы:

1. Использование токсичного аммиака в качестве хладагента делает предприятие потенциально опасным.
2. Основная опасность для работников ОАО «Брянский молочный комбинат» - взрыв компрессорной установки, а для населения прилегающей территории - это возможное токсическое отравление при крупных авариях на объекте.
3. Безаварийная работа обеспечивается только при эксплуатации объекта в соответствии с технологическим регламентом, нормами и правилами по обеспечению надежной работы оборудования, средств контроля, защиты и электроснабжения. Глубина зоны возможного заражения в случае полного

разрушения автоцистерны с аммиаком по истечении 1 часов может достигнуть 1,69 км.

4. Вероятность возникновения крупной аварии составляет  $3,2 \times 10^{-3}$ - $3,8 \times 10^{-3}$  в год, что отвечает среднему периоду безаварийной эксплуатации, порядка 280 лет.

Целесообразно провести модернизацию существующей компрессорной установки:

1. Заменить изношенную изоляцию.
2. Оснастить существующие агрегаты современными средствами автоматизации
3. Оборудовать системой вентиляции конденсаторное отделение компрессорного цеха, предусмотреть её автоматическое включение при превышении ПДК аммиака в рабочем помещении.
4. Обеспечить установку необходимым уровнем контроля.

Необходимо провести аттестацию существующего нештатного аварийно-спасательного формирования

#### Контрольные вопросы

1. Какой документ используется для расчета степени риска?
2. В чем заключается прогнозирование последствий?
3. Какие допущения применяются при прогнозировании последствий?
4. Какие основные факторы влияют на количество пораженных?
5. При развитии аварии по сценарию С1 какой возможен ущерб?

#### ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Правила контроля промышленной основной опасности, СИМАН.
2. Правила обращения с опасными веществами, NINHS.
3. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ООО «Полимедия», 2002. – 192 с.
4. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
5. Методика оценки последствий химической аварии (Методика «Токси»). Редакция 2.2).
6. Приказ МЧС России № 506 от 4 ноября 2004 года «Об утверждении

нии типового паспорта безопасности опасного объекта».

7. РД 52.04.253–90, от 23 марта 1990 г «Методика прогнозирования масштабов заражения ядовитыми сильнодействующими веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте». Федеральные законы

8. О промышленной безопасности опасных производственных объектов, от 27.07.1997 № 116-ФЗ.

9. О безопасности, от 05.03.1992 № 2446-1.

О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, от 21.12.1994 № 68-ФЗ.

#### Постановления Правительства Российской Федерации

10. Об утверждении Положения о предоставлении информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении и чрезвычайных ситуациях техногенного характера, которые оказали, оказывают, могут оказать негативное воздействие на окружающую среду, от 14.02.2000 г. № 128.

11. О порядке сбора и обмена в РФ информацией в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, от 24.03.1997 № 334.

12. О подготовки населения в области защиты от ЧС природного и техногенного характера, от 04.09.2003 № 547.

13. ГОСТ 6221 - 90. Аммиак жидкий технический.

14. ГОСТ 6221 - 90Е. Аммиак жидкий технический. Технические условия.

15. ПБ 09-579 - 03 Правила безопасности для наземных складов жидкого аммиака.

16. ПБ 09-595 - 03 Правила безопасности аммиачных холодильных установок.

17. ПБ 09-579 - 03 Правила безопасности для наземных складов жидкого аммиака.

18. ПБ 03-576 - 03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов работающих под давлением.

19. ПБ 03-581 - 03 Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов.

20. РД 52.04.253 - 90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.

21. Единая межведомственная методика оценки ущерба от ЧС техногенного, природного и террористического характера, а так же классификации и учета чрезвычайных ситуаций - М.: ФГУ ВНИИ ГО ЧС (ФЦ), 2004.

22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

23. СНиП 23-01 - 99 Строительная климатология и геофизика. Вредные вещества в промышленности.

24. Справочник для химиков, инженеров и врачей/Под общ. Ред. Н.В. Лазарева, 7-е изд. перераб. и доп. Л.: Изд-во «Химия», 1997. Т.3.

## Практическая работа 2

### ОЦЕНКА ОПАСНОГО ОБЪЕКТА ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

Цель работы. Изучить дерево отказов, основные параметры взрыва ГВС.

Содержание работы. Изучение причин возникновения аварийных ситуаций, разбор сценариев возникновения и развития аварии.

2.1. Построение всего множества сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций

Множество причин возникновения аварийной ситуации можно поделить на четыре класса:

1. Отказы оборудования.
2. Отклонение от технологического регламента.
3. Ошибки производственного персонала.
4. Внешние причины (стихийные бедствия, катастрофы, диверсии и т.д.).

Для анализа фазы инициирования аварий, вызываемых отказами оборудования, используется метод дерева неполадок. Одним из главных достоинств метода является систематичное, логически обоснованное построение множества отказов элементов системы, которые могут приводить к аварии.

Результатом анализа дерева неполадок является перечень комбинаций отказов оборудования. Каждая такая комбинация (минимальная прерывающая совокупность) является минимальным набором отказов оборудования, одновременная реализация которых приводит к аварии.

Дерево неполадок – это графическое представление логических связей между отказами оборудования и аварийными ситуациями.

Отказы, входящие в структуру дерева неполадок, могут быть поделены на три группы:

1. Первичные отказы.
2. Вторичные отказы.

### 3. Отказы управления.

К первичным отказам относятся отказы оборудования, которые произошли при условиях, в которых обычно функционирует данное оборудование. Вторичные отказы происходят вследствие изменения условий работы оборудования, в частности из-за отклонений от технологического регламента. Отказы управления имеют место, когда нормально функционирующее оборудование не получает по каким-либо причинам управляющих сигналов, что приводит, в конечном счете, к его неправильной работе.

Одной из задач анализа дерева неполадок является определение перечня первичных отказов, приводящих в созданию аварийной ситуации. Вторичные отказы и отказы управления являются промежуточными событиями, которые требуют дополнительного анализа, для выявления приводящих к их возникновению первичных событий.

Анализ дерева неполадок выполняется в четыре стадии:

- постановка задачи;
- разработка дерева неполадок;
- определение минимальных прерывающих совокупностей;
- ранжирование этих совокупностей.

Отклонение от технологического регламента, способное приводить в конечном счете в возникновению аварийной ситуации, может носить как случайный, так и детерминированный характер. К первым относятся погодные условия, разброс параметров сырья и реагентов, условия перемешивания, колебания напряжения в сети электроснабжения и т.п. Ко вторым относятся изменения проходных сечений в процессе эксплуатации оборудования, изменение эффективности фильтров, теплообменников, катализаторов и т.д.

Каждый технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от своих рекомендованных значений могут приводить к непредвиденным химическим реакциям, превышению рабочего давления и (или) температуры и как следствие – к повреждению (разрушению) технологического оборудования. Для оценки устойчиво-

сти процесса используются различные методы. Например, метод контрольных карт.

Ошибки персонала – это действие, которое выполняется или не выполняется при некоторых условиях. Это могут быть физические действия (поворот рукоятки) или действия, связанные с умственной деятельностью (диагностика отказов или принятие решения).

Для анализа ошибок персонала используются различные методики, содержащие:

- определение перечня задач (действий), которые решает (выполняет) или должен решать (выполнять) оператор;

- представление с помощью декомпозиции каждой такой задачи (действия) в виде комбинации элементарных действий в целях выявления среди них наиболее подверженных ошибкам и определения точек взаимодействия оператора и системы;

- использование данных, получаемых из записей о предшествующих событиях;

- определение наличия условий, влияющих на частоту ошибок, к которым относятся стрессы, уровень тренированности и качество систем информации.

Внешние события могут инициировать аварии на различных объектах. Хотя частота наступления таких событий достаточно мала, они могут приводить к крупномасштабным последствиям.

Внешние события могут быть поделены на две категории:

- природные явления: землетрясения, наводнения, ураганы, высокая температура, грозные разряды и т.д.;

- явления, возникающие в результате деятельности людей: авиакатастрофы, падение ракет, деятельность соседних промышленных объектов, диверсии и т.д.

2. 2. Оценка частот реализации каждого из сценариев возникновения и развития аварии

Оценка частоты реализации различных сценариев аварии определяется с использованием метода деревьев событий. Во многих случаях информация о частоте аварий, требуемая для проведения анализа риска, может быть получена непосредственно из записей о работе исследуемой системы или из записей о работе других подобных систем. Число зарегистрированных отказов должно быть поделено на общую длительность времени работы для определения частоты отказов. Численным результатом данного метода является математическое ожидание частоты, а не вероятность.

Для анализа возможных сценариев развития аварии используют метод дерева событий. Данный метод позволяет проследить возможные аварийные ситуации, возникающие вследствие реализации отказа оборудования или прерывания процесса, которые выступают в качестве исходных событий. В отличие от метода дерева неполадок анализ дерева событий представляют собой «осмысливаемый вперед» процесс, то есть процесс, при котором пользователь начинает с исходного события и рассматривает цепочки последующих событий, приводящих к аварии.

Основная процедура анализа дерева событий включает четыре стадии:

1. Определение перечня исходных событий.
2. Определение «безопасных действий» для каждого исходного события.
3. Построение дерева событий.
4. Описание общей последовательности событий.

К «безопасным действиям» относятся ответные действия, направленные на устранение влияния реализовавшегося исходного события. Они включают:

- работу системы защиты, включая системы автоматического отключения;
- работу сигнализации, предупреждающую персонал о происшедших событиях;
- действия персонала, выполняемые по сигналу тревоги или в соответствии с технологическим регламентом;
- защитные и сдерживающие методы, направленные на ограничение вли-

яния исходных событий.

Исследователь должен определить все безопасные действия, которые могут изменить результат реализации исходного события, причем в той хронологической последовательности, в которой их предусмотрено принимать. Успех или неуспех безопасных действий включается в дерево событий.

На первом шаге построения дерева событий перечисляются исходные события и безопасные действия. Исходное событие записывается в левой части листа. А безопасные действия в хронологическом порядке – в верхней части листа. Далее исследователь должен определить, как успех или неуспех безопасного действия влияет на ход развития процесса. Если такое влияние существует, то в структуру дерева событий включается точка ветвления, в которой добавляется восходящий участок в случае успеха или нисходящий – в случае неуспеха безопасного действия. Если безопасное действие не влияет на развитие процесса, горизонтальная линия продолжается до следующего безопасного действия. Каждая точка ветвления создает новые пути развития процесса, которые также должны быть исследованы.

Последним этапом процедуры построения дерева событий является общее описание последовательности событий, которые приводят к аварии и должны представлять множество всех последствий, сопровождающих исходное событие.

2.3. Построение полей поражающих факторов, возникающих при различных сценариях развития аварии

В результате реализации опасности на промышленном объекте образуются поражающими факторы для персонала, населения, окружающей среды и самого объекта. Анализ последствий реальных аварий в промышленности позволяет определить наиболее характерные поражающие факторы. К ним относятся:

- воздушная ударная волна (УВ) взрывов облаков газоздушных смесей (ГВС);
- тепловое излучение огневых (огненных) шаров;

Особенности возникновения и развития аварии на подобных объектах показали, что при моделировании физических процессов, протекающих при авариях, должны учитываться следующие явления:

- образование газоздушного облака;
- взрыв газоздушной смеси в производственном помещении или вне его;
- излучение огневых (огненных) шаров;

Кроме того, при моделировании развития аварий на подобных объектах целесообразно оценивать:

- массу газового вещества, поступающего в окружающее пространство в результате возникновения аварийных ситуаций;
- максимальные размеры взрывоопасных зон;
- избыточное давление в ударной волне при взрыве газоздушного облака;
- разлет осколков при взрывном разрушении технологического оборудования.

#### 2.4 Построение полей поражающих факторов при аварийных взрывах газоздушных смесей

В качестве методики оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей используется методика, приведенная в РД 03-409-01 позволяет провести приближенную оценку различных параметров воздушных ударных волн и определить вероятные степени поражения людей и повреждений зданий при авариях со взрывами топливно-воздушных смесей. Методика утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 N 25.

Методика предназначена для количественной оценки параметров воздушных ударных волн при взрывах газо-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях. При рассмотрении предполагается частичная разгерметизация или полное разрушение оборудования, содержащего горючее вещество в газообразной фазе, выброс этого вещества в окружающую среду, образование облака ГВС, инициирование ГВС, взрывное превращение (горение или детонация) в облаке ГВС.

Методика позволяет определять вероятные степени поражения людей и степени повреждений зданий от взрывной нагрузки при авариях со взрывами топливно-воздушных смесей.

Предполагается, что в образовании облака ГВС участвует горючее вещество одного вида, в противном случае (для смеси нескольких горючих веществ) характеристики ГВС, используемые при расчетах параметров ударных волн, определяются отдельно.

#### 2.4.1. Определение основных параметров взрыва ГВС

##### Определение эффективного энергозапаса ГВС

Эффективный энергозапас горючей смеси определяется по соотношению

$$E = M_{\text{Г}} q_{\text{Г}} \text{ при } C_{\text{Г}} \leq C_{\text{сг}} \quad (1)$$

или

$$E = M_{\text{Г}} q_{\text{Г}} C_{\text{сг}}/C_{\text{Г}} \text{ при } C_{\text{Г}} > C_{\text{сг}}.$$

При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается. Для оценки объема газового облака ГВС можно воспользоваться простым соотношением:

$$V = M_{\text{Г}}/C_{\text{сг}}.$$

В случае если определение концентрации горючего вещества в смеси затруднено, в качестве величины  $C_{\text{Г}}$  в соотношении (1) принимается концентрация, соответствующая нижнему концентрационному пределу воспламенения горючего газа.

Теплота сгорания горючего газа  $q_{\text{Г}}$  в ГВС берется из справочных данных или оценивается по формуле

$$q_{\text{Г}} = 44\beta \text{ МДж/кг.}$$

Корректировочный параметр  $\beta$  для наиболее распространенных в промышленном производстве опасных веществ определяется из табл. 1 РД 03-409-01.

ГВС, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам разделены на четыре класса. Классификация горючих веществ приведена в табл. 1 (РД 03-409-01).

Для дальнейших расчетов необходимо оценить агрегатное состояние смеси. Предполагается, что смесь ГВС считается газовой. Провести такие оценки можно исходя из величины давления насыщенных паров топлива при данной температуре и времени формирования облака. Для летучих веществ, таких, как пропан-метан при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ , смесь можно считать газовой расчеты проводятся в предположении газовой газозвушной смеси.

Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн

После того как определен вероятный режим взрывного превращения, рассчитываются основные параметры воздушных ударных волн (избыточное давление  $\Delta P$  и импульс волны давления  $I$ ) в зависимости от расстояния до центра облака.

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии  $R$  от центра облака при детонации облака ГВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по соотношению:

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}$$

Далее рассчитываются безразмерное давление  $P_x$  и безразмерный импульс фазы сжатия  $I_x$ .

В случае детонации облака газовой ГВС расчет производится по следующим формулам:

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66\ln(R_x) + 0,26 (\ln(R_x))^2 \pm 10 \%;$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898\ln(R_x) - 0,0096 (\ln(R_x))^2 \pm 15 \%$$

Эти зависимости справедливы для значений  $R_x$ , больших величины  $R_k = 0,2$  и меньших  $R_k = 24$ . В случае  $R_k < 0,2$  величина  $P_x$  полагается равной 18, а в выражение  $\ln(I_x)$  подставляется значение  $R_x = 0,142$ .

В случае детонации облака ГВС расчет производится по следующим формулам:

$$P_x = 0,125/R_x + 0,137/R_x^2 + 0,023/R_x^3 \pm 10 \%;$$

$$I_x = 0,022/R_x \pm 15 \%$$

Эти зависимости справедливы для значений  $R_x$  больших величины  $R_k = 0,25$ . В случае если  $R_x < R_k$ , величина  $P_x$  полагается равной 18, а величина  $I_x = 0,16$ .

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ГВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени ( $V_f$ ) и степень расширения продуктов сгорания ( $\sigma$ ). Для газовых смесей принимается  $\sigma = 7$ , для гетерогенных -  $\sigma = 4$ . Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси домножается на коэффициент  $(\sigma - 1)/\sigma$ .

Безразмерные давление  $P_{x1}$  и импульс фазы сжатия  $I_{x1}$  определяются по соотношениям:

$$P_{x1} = (V_f/C_0)^2((\sigma - 1)/\sigma)(0,83/R_x - 0,14/R_x^2); \quad (9)$$

$$I_{x1} = (V_f/C_0)((\sigma - 1)/\sigma)(1 - 0,4(\sigma - 1)V_f/\sigma C_0)(0,06/R_x + 0,01/R_x^2 - 0,0025/R_x^3). \quad (10)$$

Последние два выражения справедливы для значений  $R_x$ , больших вели-

чины  $R_{кр} = 0,34$ , в противном случае вместо  $R_x$  в соотношения подставляется величина  $R_{кр}$ .

Далее вычисляются величины  $P_{x2}$  и  $I_{x2}$ , которые соответствуют режиму детонации. Окончательные значения  $P_x$  и  $I_x$  выбираются из условий:

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}); I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}).$$

После определения безразмерных величин давления и импульса фаз сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0;$$

$$I = I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0.$$

## 2.5. Определение дополнительных характеристик взрыва ГВС

### Профиль ударной волны

Характерный профиль ударной волны при взрыве ГВС показан на рис.

2.1.

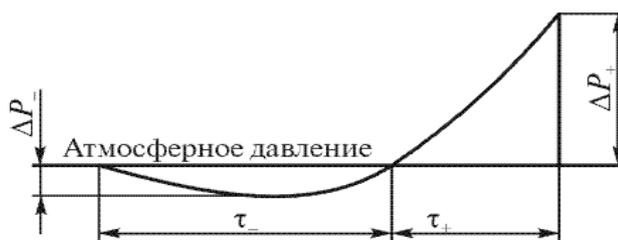


Рис.2.1. Характерный профиль ударной волны

Ниже показано, как определяются количественные характеристики дополнительных параметров ударной волны.

### Параметры падающей и отраженной волны

Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси рассчитываются по следующим соотношениям.

Амплитуда фазы сжатия

$$\ln(\Delta P_+/P_0) = 0,299 - 2,058 \ln \lambda + 0,26(\ln \lambda)^2.$$

Амплитуда фазы разрежения

$$\ln(\Delta P_-/P_0) = -1,46 - 1,402 \ln \lambda + 0,079(\ln \lambda)^2.$$

Длительность фазы сжатия

$$\ln(10^5 \tau_+/E^{1/3}) = 0,106 + 0,448 \ln \lambda - 0,026(\ln \lambda)^2.$$

Длительность фазы разрежения

$$\ln(10^5 \tau_-/E^{1/3}) = 1,299 + 0,412 \ln \lambda - 0,079(\ln \lambda)^2.$$

Импульс фазы сжатия

$$\ln(I_+/E^{1/3}) = -0,843 - 0,932 \ln \lambda - 0,037(\ln \lambda)^2.$$

Импульс фазы разрежения

$$\ln(I_-/E^{1/3}) = -0,873 - 1,25 \ln \lambda + 0,132(\ln \lambda)^2.$$

Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением

$$\Delta P(t, \lambda) = \Delta P_+(\sin(\pi(t - \tau_+)/\tau_-)/\sin(-\pi\tau_+\tau_i/\tau_t))\exp(-K+t). \quad (20)$$

Декремент затухания в падающей волне рассчитывается по соотношению

$$K_i = 0,889 - 0,356 \ln \lambda + 0,105 (\ln \lambda)^2.$$

Для расчета параметров отраженной волны при ее нормальном падении на преграду используются следующие соотношения.

Амплитуда отраженной волны давления

$$\ln(\Delta P_{r+}/P_0) = 1,264 - 2,056 \ln \lambda + 0,211 (\ln \lambda)^2.$$

Амплитуда отраженной волны разрежения

$$\ln(\Delta P_{r-}/P_0) = -0,673 - 1,043 \ln \lambda + 0,252 (\ln \lambda)^2.$$

Длительность отраженной волны давления

$$\ln(10^5 \tau_{r+}/E^{1/3}) = -0,109 + 0,983 \ln \lambda - 0,23 (\ln \lambda)^2.$$

Длительность отраженной волны разрежения

$$\ln(10^5 \tau_{r-}/E^{1/3}) = 1,265 + 0,857 \ln \lambda - 0,192 (\ln \lambda)^2.$$

Импульс отраженной волны давления

$$\ln(I_{r+}/E^{1/3}) = -0,07 - 1,033 \ln \lambda + 0,045 (\ln \lambda)^2.$$

Импульс отраженной волны разрежения

$$\ln(I_{r-}/E^{1/3}) = -0,052 - 0,462 \ln \lambda - 0,27 (\ln \lambda)^2.$$

Общее время действия отраженных волн на мишень

$$\ln(10^5(\tau_{r+} + \tau_{r-})/E^{1/3}) = 1,497 + 0,908 \ln \lambda - 0,404 (\ln \lambda)^2.$$

Форма отраженной волны с описанием фаз сжатия и разрежения с хорошей для практических целей точностью может быть описана соотношением

$$\Delta P_{PP} \lambda(t, \Delta) = r_{P+} \pi (\sin(\tau(t - r_{+} \tau)/r_{\pi-})/\sin(-\tau_{r+} \tau)/r_{r-})) \exp(-K \tau t/r_{+}).$$

Декремент затухания в отраженной волне рассчитывается по соотношению

$$K_r = 0,978 - 0,554 \ln \lambda + 0,26 (\ln \lambda)^2.$$

Соотношения справедливы при значениях  $\lambda$  до 51,6.

Импульсные характеристики падающих и отраженных волн не зависят от скорости взрывного превращения. Интенсивность и длительность действия ударных волн при  $\lambda \geq 1$  рассчитываются по соотношениям предыду-

щего раздела. Возможность таких оценок основана на сравнении опытных данных с фактическими сведениями об авариях.

2.6. Построение полей поражающих факторов при тепловом излучении огневых (огненных) шаров

Огненный шар

Для огненного шара предлагается рассчитывать интенсивность теплового излучения  $q$  по формуле.

$$q = E_f F_q x$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт\*м<sup>-2</sup>;

$F_q$  – угловой коэффициент облученности;

$x$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Величину  $E_f$  определяем на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f = 450$  кВт\*м<sup>-2</sup>.

Значение  $F_q$  определяем по формуле

$$F_q = \frac{H_u / D_s + 0.5}{4[(H_u / D_s + 0.5)^2 + (r / D_s)^2]^{1.5}},$$

где  $H_u$  – высота центра огненного шара, м.

$D_s$  – эффективный диаметр огненного шара, м.

$r$  – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

3. Оценка последствий воздействия поражающих факторов аварии на человека (или другие материальные объекты)

3.1. Оценка поражающего воздействия при взрывах топливовоздушных смесей

При взрывах ГВС существенную роль играют такие поражающие факторы, как длительность действия ударной волны, и связанный с ней параметр импульс взрыва. Реальное деление плоскости факторов поражения на диаграмме импульс - давление на две части (внутри - область разрушения, вне -

область устойчивости) не имеет четкой границы. При приближении параметров волны к границе опасной области вероятность заданного уровня поражения нарастает от 0 до 100 %. При превышении известного уровня величин амплитуды давления и импульса достигается 100 % вероятность поражения. Эта типичная особенность диаграмм поражения может быть отражена представлением вероятности достижения того или иного уровня ущерба с помощью пробит-функции - Pr.

#### Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ГВС

Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1.$$

Фактор  $V_1$  рассчитывается с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по соотношению

$$V_1 = (17\,500/\Delta P)^{8,4} + (290/I)^{9,3}$$

Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2.$$

В этом случае фактор  $V_2$  рассчитывается по формуле

$$V_2 = (40\,000/\Delta P)^{7,4} + (460/I)^{11,3}.$$

На рисунке 2.2. приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям поражения зданий ударной волной при взрыве облака ГВС.

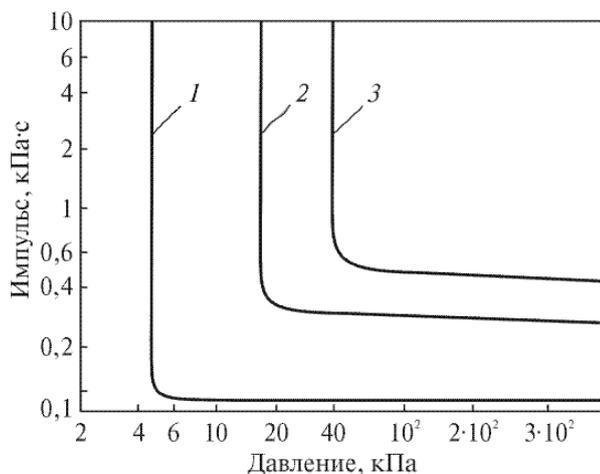


Рис. 2.2. P-I диаграмма для оценки уровня поражения промышленных зданий:

1 - граница минимальных разрушений; 2 - граница значительных повреждений; 3 - разрушение зданий (50-75% стен разрушено)

### Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ГВС

Ниже приводятся соотношения, которые могут быть использованы для расчета уровня вероятности поражения воздушной волной живых организмов (в том числе и человека).

Вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ГВС, может быть оценена по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3.$$

Фактор опасности  $V_3$  рассчитывается по соотношению

$$V_3 = 4,2/\bar{p} + 1,3/\bar{i}$$

Безразмерное давление и безразмерный импульс задаются выражениями:

$$\bar{p} = 1 + \Delta P/P_0 \text{ и } \bar{i} = I(P_0^{1/2} m^{1/3}),$$

где  $m$  - масса тела живого организма, кг.

На рисунке 3 приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям вероятности поражения людей, попавших в зону действия взрыва.

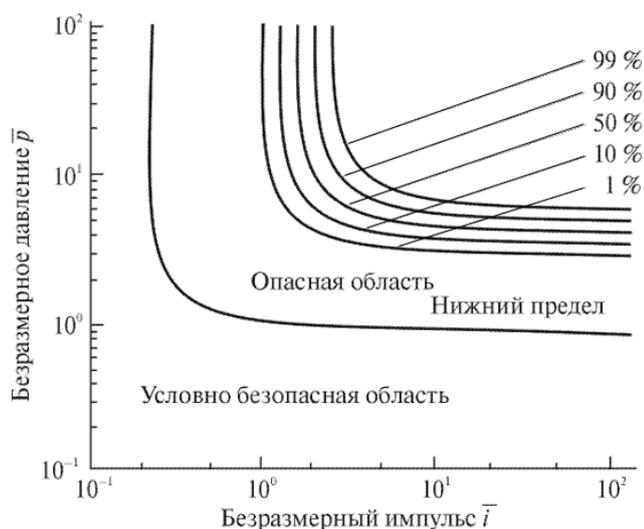


Рис.2.3 P-I диаграмма для экспресс-оценки поражения людей от взрыва ГВС

В некоторых источниках сообщается о зависимости вероятности разрыва барабанных перепонки у людей от уровня перепада давления в воздушной волне:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P .$$

Вероятность отброса людей волной давления может оцениваться по величине пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5 .$$

Здесь фактор  $V_5$  рассчитывается из соотношения

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^3 / \Delta P + 1,3 \cdot 10^9 / (\Delta P I).$$

Связь функции  $Pr_i$  с вероятностью той или иной степени поражения находится по табл. 3 РД 03-409-01.

Оценка радиусов зон поражения

Для определения радиусов зон поражения может быть предложен следующий метод, который состоит в численном решении уравнения

$$k / (\Delta P(R) - P^*) = I(R) - I^*$$

причем константы  $k$ ,  $P^*$ ,  $I^*$  зависят от характера зоны поражения и определяются из табл. 2.1.

Таблица 2.1. Константы для определения радиусов зон поражения при взрывных ГВС

Характеристика действия ударной волны	$I^*$ , Па·с	$P^*$ , Па	$k$ Па <sup>2</sup> ·с
Разрушение зданий			
Полное разрушение зданий	770	70100	886 100
Граница области сильным разрушений: 50-75 % стен разрушено или находится на грани разрушения	520	34500	541 000
Граница области значительных повреждений: повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку	300	14600	119 200
Граница области минимальных повреждений: разрывы некоторых соединений, расчленение конструкций	100	3600	8950
Полное разрушение остекления	0	7000	0
50 % разрушение остекления	0	2500	0
10 % и более разрушение остекления	0	2000	0
Поражение органов дыхания незащищенных людей			

50 % выживание	440	243 000	$1,44 \cdot 10^8$
Порог выживания (при меньшим значениям смерт. поражения людей маловероятны)	100	65 900	$1,62 \cdot 10^7$

В некоторых источниках предлагается более простая формула для определения радиусов зон поражения, используемая, как правило, для оценки последствий взрывов конденсированных ВВ, но, с известными допущениями, приемлемая и для грубой оценки последствий взрывов ГВС:

$$R = KW^{1/3} / (1 + (3180/W)^2)^{1/6}$$

где коэффициент К определяется согласно табл. 4.1.2., а W - тротильный эквивалент взрыва, определяемый из соотношения

$$W = \frac{0,4 M_r q_r}{0,9 4,5 \cdot 10}$$

где  $q_r$  - теплота сгорания газа.

Таблица 2.2. Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения здания	Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Коэффициент К
А	Полное разрушение здания	$\geq 100$	3,8
В	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70	5,6
С	Средние повреждения, возможно восстановление здания	28	9,6
Д	Разрушение оконных проемов, легко-сбрасываемых конструкций	14	28,0
Е	Частичное разрушение остекления	$\leq 2,0$	56

Для определения радиуса смертельного поражения человека в соотношение R следует подставлять величину  $K = 3,8$ .

### 3.2. Оценка поражающего воздействия при тепловом излучении огневых (огненных) шаров

Следует говорить о дозе излучения  $D$  (случай огненного шара).

Величина  $q_{кр}$  для различных степеней поражения человека приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Воздействие теплового излучения на человека

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт
Без негативных последствий в течение неограниченного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20-30 с. Ожог 1-й степени через 15-20 с. Ожог 2-й степени через 30-40 с.	7,0
Непереносимая боль через 3-5 с. Ожог 1-й степени через 6-8 с. Ожог второй степени через 12-16 с.	10,5
Летальный исход с вероятностью 50% при длительности воздействия около 10 с.	44,5

В качестве вероятностного критерия оценки поражения тепловым излучением возможно использование понятия пробит-функции. Для оценки различных степеней поражения человека тепловым излучением через величины пробит-функции могут быть использованы следующие формулы:

для ожога первой степени

$$Pr = -39,83 + 3,0186 \ln(tq^{4/3})$$

для ожога второй степени

$$Pr = -43,14 + 3,0186 \ln(tq^{4/3})$$

летальный исход (в отсутствии защиты)

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln(tq^{4/3})$$

летальный исход (при наличии защиты)

$$Pr = -37,23 + 2,56 \ln(tq^{4/3})$$

где  $t$  – эффективное время экспозиции, с;

$q$  - интенсивность теплового излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Эффективное время экспозиции  $t$  может быть вычислена по формулам:

для огненного шара

$$t = 0,92m^{0.303}$$

где

$m$  – масса горючего вещества, участвующего в образовании «огненного шара», кг.

## ОПИСАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА И ОБОСНОВАНИЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий. Основными количественными показателями риска аварии являются:

- технический риск – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасного производственного объекта;
- индивидуальный риск – частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий;
- потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке

территории;

- коллективный риск – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени;

- социальный риск, или F/N кривая – зависимость частоты возникновения событий F, в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N. Характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей;

- ожидаемый ущерб – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии, за определенный период времени.

В соответствии с РД 03-418-01 индивидуальный риск поражения человека, находящегося в определенной точке пространства, следует оценивать по следующей формуле:

$$R_{\text{инд}} = \sum_{i=1}^k Q_i \cdot Q_{\text{пи}} \cdot f_i \quad (***)$$

где  $Q_i$  – частота  $i$ -го сценария аварии, 1/год,  $Q_{\text{пи}}$ ,  $f_i$  – условная вероятность возникновения поражающих факторов и условная вероятность присутствия данного человека (индивидуума) в данной точке (области) пространства при  $i$ -м сценарии аварии, соответственно,  $k$  – число сценариев.

Для работника предприятия с 8-часовым рабочим днем для большинства сценариев величину  $f$  можно положить равной 0,3 (независимо от числа смен на производстве). При  $f_i = 1$  получаем величину потенциального территориального риска – максимального значения индивидуального риска поражения человека  $R_{\text{пот}}$ .

В случае достоверной статистики происшедших случаев величина среднего индивидуального риска группы  $N$  людей, подвергающихся одному и тому же риску, определяется как отношение пострадавших  $n$  к общему числу рискующих  $N$  за наблюдаемый период времени  $t$  (обычно год):

$$R_{\text{инд (ср.)}} = n / N / t$$

Отметим, что значение в точке  $F(1)$  на кривой социального риска гибели человека ( $F/N$  кривая), соответствующее частоте гибели одного и более человек (т.е. частоте несчастного случая), не равно в общем случае величине индивидуального или потенциального риска (в данной точке  $r$ ), причем:

$$R_{\text{инд}} \leq F(1) \leq R_{\text{пот}}(r)$$

Значение  $F(1) = R_{\text{инд}}$  в случае, например, для производства в одну смену с одним и тем же персоналом), а  $F(1) = R_{\text{инд}} = R_{\text{пот}}(r)$  при условии постоянного пребывания людей в точках территории с координатами  $r(x, y, z)$ .

Для более точных расчетов индивидуального риска с учетом перемещения человека по территории необходимо интегрировать потенциальные риски гибели от различных источников опасности и с учетом вероятности нахождения его в каждой области (площадке) территории. Но, как правило, в практических работах приводятся усредненные (по отдельным группам рисующих) значения индивидуального риска.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА

Ниже представлена краткая характеристика основных методов, рекомендуемых РД 03-418-01 для проведения анализа риска.

1. Методы “Проверочного листа” и “Что будет, если...?” или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности.

Результатом проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного

листа отличается от “Что будет, если...?” более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

2. “Анализ вида и последствий отказов” (АВПО) применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему.

Анализ вида и последствий отказа можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности – вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видом и причин возможных отказов, частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности-тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики.

Ниже (Таблица 4.1) в качестве примера приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отка-

за. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т.п.), окружающая среда.

В таблице 2.1 применены следующие варианты критериев:

- критерии отказов по тяжести последствий:
  - катастрофический отказ – приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде,
  - критический/некритический отказ – угрожает/не угрожает жизни людей, приводит(не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде,
  - отказ с пренебрежимо малыми последствиями – отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.
- Категории (критичность) отказов:
  - “А” - обязателен количественный анализ риска, или требуются особые меры обеспечения безопасности;
  - “В” – желателен количественный анализ риска, или требуется принятие определенных мер безопасности;
  - “С” – рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;
  - “Д” – анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется.

Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений. Выполняется группой специалистов различного профиля (например, специалист по технологии, химическим процессам, инженер-механик) из 3 - 7 человек в течение нескольких дней, недель.

3. В методе “Анализ опасности и работоспособности” (АОР) исследуется влияние отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов с точки зрения возможности возникновения опасности. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню

АВПО, АВПКО.

Таблица 2.3. Матрица “вероятность-тяжесть последствий

Частота возникновения отказа 1/год		Тяжесть последствий отказов			
		катастро- фический отказ	критиче- ский отказ	некритиче- ский отказ	отказ с пре- небрежимо малыми по- следствиями
Частый отказ	$>1$	А	А	А	С
Вероятный отказ	$1 - 10^{-2}$	А	А	В	С
Возможный отказ	$10^{-2} - 10^{-4}$	А	В	В	С
Редкий отказ	$10^{-4} - 10^{-6}$	А	В	С	Д
Практически невероятный отказ	$<10^{-6}$	В	С	С	Д

В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения используются ключевые слова “нет”, “больше”, “меньше”, “также как”, “другой”, “иначе чем”, “обратный” и т.п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Примерное содержание ключевых слов следующее:

“НЕТ” – отсутствие прямой подачи вещества, когда она должна быть;

“БОЛЬШЕ (МЕНЬШЕ)” – увеличение (уменьшение) значений режим-

ных переменных по сравнению с заданными параметрами (температуры, давления, расхода);

“ТАКЖЕ КАК” – появление дополнительных компонентов (воздух, вода, примеси);

“ДРУГОЙ” – состояние, отличающиеся от обычной работы (пуск, остановка, повышение производительности и т.д.);

“ИНАЧЕ ЧЕМ” – полное изменение процесса, непредвиденное событие, разрушение, разгерметизация оборудования;

“ОБРАТНЫЙ” – логическая противоположность замыслу, появление обратного потока вещества.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО (Таблица 1).

Отметим, что метод АОР, также как АВПКО, кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Недостатки методов связаны с затрудненностью их применения для анализа комбинаций событий, приводящих к аварии.

4. Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа “деревьев отказов” и “деревьев событий”.

При анализе “деревьев отказов” (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к головному

событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе дерева отказа (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии.

Анализ “дерева событий” (АДС) – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Методы количественного анализа риска.

Количественный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям и наиболее эффективен:

- на стадии проектирования и размещения опасного производственного объекта;
- при обосновании и оптимизации мер безопасности;
- при оценке опасности крупных аварий на опасных производственных объектах, имеющих однотипные технические устройства (например, магистральные трубопроводы);
- при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей природной среды.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ЧС

Любой сценарий, описывающий аварию, начинается с инициирующего события (разгерметизации технологического аппарата, ёмкости, участка трубопровода, содержащего, взрывопожароопасное вещество и утечки различной интенсивности), которое может возникнуть с некоторой частотой.

При оценке частот инициирующих событий рассматриваемого объекта:

- учитывались частные коэффициенты опасности, определение которых дано в ПБ 09-540-03;

- использовались материалы отраслевого руководства РАО «Газпром»;

- проводилась статистическая оценка неполадок и аварийных случаев по видам оборудования для аналогичных объектов;

- рассматривались материалы деклараций безопасности промышленных объектов с аналогичной технологией;

- использовался метод экспертных оценок.

Частоты инициирующих событий определялись на основе данных статистики и условий функционирования данных производств:

- дефекты труб (13,9 %);

- дефекты оборудования (1,4 %);

- брак строительно-монтажных работ (23,2 %);

- нарушение правил технической эксплуатации (3,9 %);

- внутренняя эрозия и коррозия (2,4 %);

- подземная коррозия (37,1 %);

- механические повреждения (6,9 %);

- стихийные бедствия (2,2 %);

- прочие (9 %).

Основные события, приводящие к аварии и образованию полей поражающих факторов, а также их вероятностный диапазон частот возникновения, представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 Частоты инициирующих событий

№	Вид инициирующего события	Частота события, 1/год
1	Отказ регулятора давления	0.03
2	Разгерметизация трубопровода (1м)	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Разгерметизация насосов	$7 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$
4	Разрушение стенки корпуса резервуара	$1,161 \cdot 10^{-4}$
5	Разрушение упорных соединений	$0,678 \cdot 10^{-4}$

№	Вид инициирующего события	Частота события, 1/год
6	Разрушение монтажных соединений	$0,24 \cdot 10^{-4}$
7	Разрушение вставок	$0,192 \cdot 10^{-4}$
8	Другие отказы	$0,342 \cdot 10^{-4}$
9	Утечка от разгерметизации резервуара	$0.1 \cdot 10^{-4}$
10	Разряды атмосферного электричества	$0.2 \cdot 10^{-4}$
11	Разряды статического электричества	$1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$
12	Открытое пламя и искры	$5 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$

Размер утечки при разгерметизации трубопровода 90% случаев – выброс содержимого через отверстие 1” до тех пор, пока утечка не будет остановлена; 10% случаев – полный разрыв трубопровода.

Содержание сценариев и последствия аварийных ситуаций с природным газом (метан) определялись рядом факторов, основными из которых являются:

- тип и структура технологической схемы;
- виды соединения основных блоков, аппаратов, установок и т.п.;
- способ размещения запорных, предохранительных и регулирующих устройств;
- последовательность и время срабатывания запорных устройств;
- схема и надежность систем КИП и А;
- надежность и прочность технологического оборудования (качество изготовления, монтажа и т.п.);
- уровень резервирования основных элементов технологической схемы;
- уровень квалификации обслуживающего персонала;
- степень плотности монтажа технологического оборудования в котельной, специальных помещениях или на открытой площадке.

Итоговая частота того или иного сценария реализации аварии на объекте определялась из соотношения:

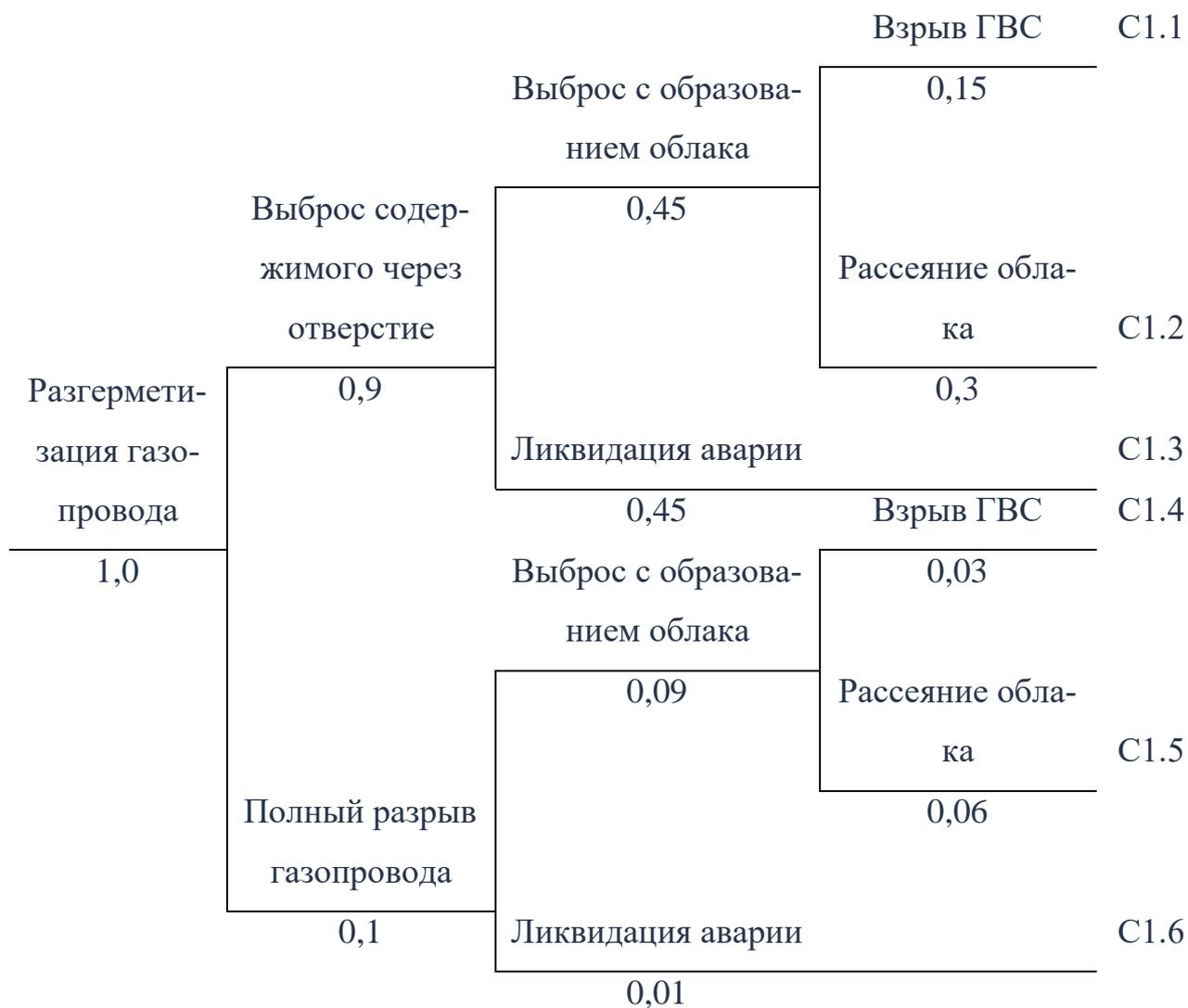
$$A = A_0 \cdot B, \text{ где:}$$

A - частота реализации данного сценария развития аварии, 1/год;

A<sub>0</sub> - частота реализации инициирующего события;

B - вероятность данного пути реализации аварии.

В качестве факторов, определяющих летальный исход, рассматривалось поражающее действие воздушной ударной волны, огневого шара, обломков строительных конструкций и осколков остекления.



«Дерево событий» реализации сценариев развития аварии при разгерметизации газопровода

Сценарии, связанные с разгерметизацией и выделением значительного количества газа из технологического оборудования и трубопроводов практи-

чески идентичны и приближенно могут быть представлены с помощью «дерева событий».

С учетом данных, приведенных в табл. 5.1, истинные вероятности реализации сценария аварии С1, как наиболее опасного по своим последствиям, представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Истинные частоты реализации аварийных ситуаций

Исходное событие	Наименование сценария	Сценарий	Частота реализации, год <sup>-1</sup>
Разгерметизация газопровода 5,0*10 <sup>-6</sup> 1/(м*год)	Взрыв ГВС	С1.1	7,50Е-07
	Рассеяние облака	С1.2	1,50Е-06
	Локализация аварии	С1.3	2,25Е-06
	Взрыв ГВС	С1.4	1,50Е-07
	Рассеяние облака	С1.5	3,00Е-07
	Локализация аварии	С1.6	5,00Е-08

Оценка количеств опасных веществ, участвующих в авариях

Количество опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов при реализации наиболее опасного по своим последствиям сценария развития аварийной ситуации, приведено в табл. 2.6.

Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Возникновение поражающих факторов, представляющих опасность для людей, а также зданий, сооружений и техники, расположенных вокруг территории газопровода среднего давления, ГРУ, котельной, возможно при:

- пожарах, причинами которых являются, разгерметизация трубопрово-

дов, возникновении искр, образующихся при соударении друг с другом фрагментов трубы, либо при ударах о трубу «выдуваемых» высокоскоростными струями каменистых включений грунта;

- не контролируемом высвобождении запасенной на объекте энергии (химическая энергия – природный газ; запасенная механическая энергия – работа оборудования, агрегатов и механизмов; кинетическая - движущиеся по территории автомобили и др. техника).

Таблица 2.6

Количество опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов при реализации наиболее опасного по своим последствиям сценария развития аварийной ситуации

№ сценария	Результат развития аварийной ситуации	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, т	
			участвующего в аварийной ситуации	участвующего в создании поражающих факторов
С1	1. Выброс метана из газопровода $P = 0,3 \text{ кгс/см}^2$ Ду 100х3 мм	Взрыв ГВС	0,107	0,107

Возможными причинами аварий могут быть:

разрыв линейной части газопровода (усталость металла, коррозия; брак сварки; механическое повреждение оборудования в результате нарушения регламента работ и т.д.); гипотетическая авария с разгерметизацией технологических систем.

Событиями, составляющими сценарий развития аварий являются:

а) выброс газа (образование горящих факелов, пожар с последующим вовлечением окружающего оборудования и транспортных средств, несущих конструкций, трубопроводов);

б) образование и дрейф облака газовойоздушной смеси (взрывное преобразование облака, образование воздушной ударной волны, формирование ог-

невого шара, разрушение окружающего оборудования и транспортных средств, несущих конструкций, трубопроводов);

Для определения зон действия основных поражающих факторов (теплового излучения воздушной ударной волны) использовалась «Методика оценки последствий аварий на пожаро- взрывоопасных объектах» («Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в ЧС», книги 1, 2, МЧС России, 1994г.) и ГОСТ Р 12.3.047-98.

В качестве поражающих факторов рассмотрены:

- воздушная ударная волна;
- тепловое излучение огневых шаров.

Для оценки степени разрушений и количества пострадавших от воздушной ударной принимались следующие значения:

Таблица 2.7

Оценка степени разрушений и количества пострадавших

Характер повреждений элементов зданий и воздействия на человека	P, кПа
Разрушение остекления	5
Разрушение перегородок и кровли кирпичных зданий	15
Разрушение стен кирпичных зданий	40
Отсутствуют летальные исходы, возможны травмы от разрушения стекол и повреждения стен здания	5.9-8.3
Летальный исход маловероятен, временная потеря слуха или травмы от вторичных эффектов ВУВ	16
Летальный исход возможен, травмы серьезные	24
Летальный исход в 50% случаев	55
Летальный исход	70

Таблица 2.8 Для оценки разрушений и количества пострадавших от теплового излучения горящих факелов принимались следующие значения

Характер повреждений элементов зданий и воздействия на человека	Интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Стальные конструкции (Т <sub>воспл</sub> =300 °С) разрушение	
10 минут	30
30 минут	20
50 минут	15
Кирпичные конструкции (Т <sub>воспл</sub> =700 °С) разрушение	
10 минут	95
30 минут	55
50 минут	35
Летальный исход	
10 секунд	45
30 секунд	35
1 минута	20
10 минут	10
Ожог 2-ой степени	
10 секунд	20
30 секунд	10.5
1 минута	8
10 минут	6

Таблица 5.6

Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений

Наименование степени	Характеристика степени разрушения зданий и сооружений
Полная	Разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений, включая подвалы
Сильная	Разрушение части, стен и перекрытий. Верхних этажей. Образование трещин в стенах, деформация перекрытий этажей
Средняя	Разрушение второстепенных элементов (крыш, перегородок, оконных и дверных заполнений). Перекрытия не разрушаются. Помещения пригодны для использования после расчистки от обломков и проведения ремонта
Слабая	Разрушение оконных и дверных заполнений и перегородок. Помещения полностью сохраняются и пригодны для использования после уборки мусора и заделки проемов

Воздействию поражающих факторов может подвергнуться персонал котельной или цехов предприятия, случайные прохожие, близлежащие здания и сооружения.

В качестве показателя воздействия тепловых потоков на людей принят процент людей, получивших ожоги 1-ой и 2-ой степени, а также смертельное поражение.

Воздействие тепловых потоков на здания и сооружения оценивается возможностью воспламенения горючих материалов.

В пределах огневого шара или горящего факела люди получают смертельное поражение, все горючие материалы воспламеняются.

Анализ условий возникновения, путей развития аварий и оценки их последствий позволяет установить возможность перехода аварийной ситуации на объекте на уровень «Б».

Размер зон действия поражающих факторов для наиболее опасной по последствиям сценария аварийной ситуации показаны ниже:

### ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов оценки риска показывает, что для рассматриваемого объекта уровень риска соответствует принятым мировым нормам ( $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).

Для поддержания существующего уровня риска на предприятии необходимо выполнение ряда организационных мероприятий, изложенных следующем разделе данной записки.

### Контрольные вопросы

1. Что такое дерево неполадок?
2. Какие стадии выполняет анализ дерева неполадок?
3. Какие методики используются для анализа ошибок персонала?
4. Что включает в себя «безопасные действия»?
5. Риск аварии. Показатели риска аварии.

## Список литературы

1. РД 03 – 409 – 01
2. РД 03 – 418 – 01
3. ПБ 09 – 540 – 03
4. ГОСТ Р 12.3047 – 98

## Практическая работа 3

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РИСКА

Цель работы. Изучить задачи видов риска.

При взрывах ТВС существенную роль играют такие поражающие факторы, как длительность действия ударной волны, и связанный с ней параметр импульс взрыва. Реальное деление плоскости факторов поражения на диаграмме импульс - давление на две части (внутри - область разрушения, вне - область устойчивости) не имеет четкой границы. При приближении параметров волны к границе опасной области вероятность заданного уровня поражения нарастает от 0 до 100%. При превышении известного уровня величин амплитуды давления и импульса достигается 100% вероятность поражения. Эта типичная особенность диаграмм поражения может быть отражена представлением вероятности достижения того или иного уровня ущерба с помощью пробит-функции - Pr.

Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ТВС

Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению:

$$Pr = 5 - 0,26 \ln V.$$

Фактор V1 рассчитывается с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по соотношению

$$VI = (17\,500/P)^{8,4} + (290/I)^{93}$$

Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2.$$

В этом случае фактор  $V_2$  рассчитывается по формуле

$$V_2 = (40\,000/P)^{7,4} + (460/I)^{93}$$

На рисунке 3.1. приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям поражения зданий ударной волной при взрыве облака ТВС.

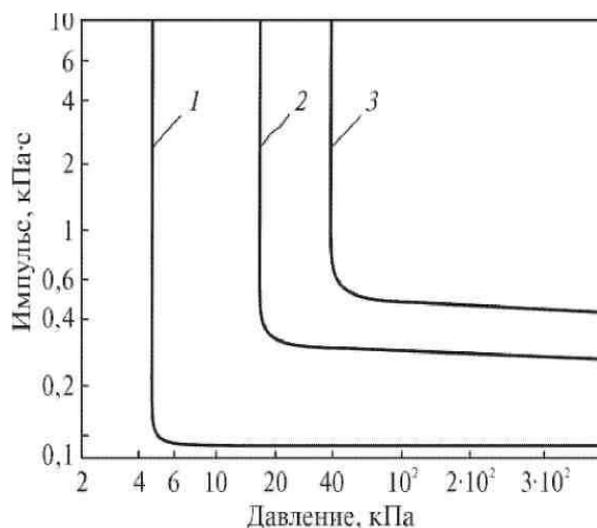


Рисунок 3.1 - P-I диаграмма для оценки уровня поражения промышленных зданий: 1 - граница минимальных разрушений; 2 - граница значительных повреждений; 3 - разрушение зданий (50-75% стен разрушено)

#### Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС

Ниже приводятся соотношения, которые могут быть использованы для расчета уровня вероятности поражения воздушной волной живых организмов

(в том числе и человека).

Вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, может быть оценена по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3.$$

Фактор опасности  $V_3$  рассчитывается по соотношению

$$V_3 = 4,2/p + 1,3/\Gamma''$$

Безразмерное давление и безразмерный импульс задаются выражениями:

$$p = 1 + P/P_0 \text{ и } \Gamma = I/(P_0^{1/\gamma} \cdot m^{1/3}) \text{ где } m - \text{масса тела живого}$$

организма, кг.

На рисунке 3.2 приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям вероятности поражения людей, попавших в зону действия взрыва.

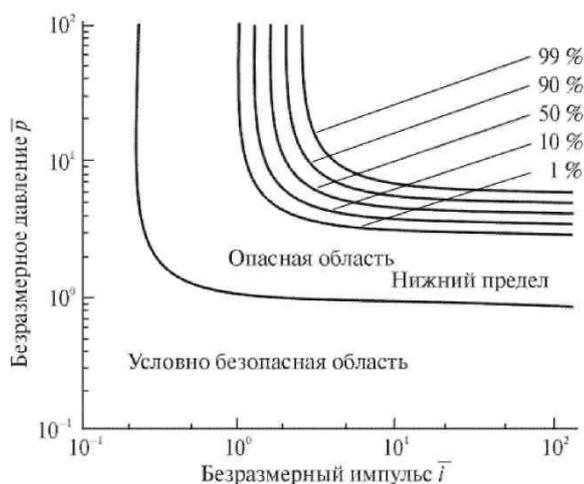


Рисунок - Диаграмма для экспресс-оценки поражения людей от взрыва ТВС

В некоторых источниках сообщается о зависимости вероятности разрыва барабанных перепонки у людей от уровня перепада давления в воздушной волне:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln P .$$

Вероятность отброса людей волной давления может оцениваться по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 2,44 \ln V_5.$$

Здесь фактор  $V_5$  рассчитывается из соотношения

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^3 / P + 1,3 \cdot 10^9 / (PI).$$

Связь функции  $Pr$  с вероятностью той или иной степени поражения находится по табл. 3 РД 03-409-01

Оценка радиусов зон поражения

Для определения радиусов зон поражения может быть предложен следующий метод, который состоит в численном решении уравнения

$$k / (P(R) - P^*) = I(R) - I^*$$

причем константы  $k$ ,  $P^*$ ,  $I^*$  зависят от характера зоны поражения и определяются из табл. ниже.

В некоторых источниках предлагается более простая формула для определения радиусов зон поражения, используемая, как правило, для оценки последствий взрывов конденсированных ВВ, но, с известными допущениями, приемлемая и для грубой оценки последствий взрывов ТВС:

$$R = KW^{1/3} / (1 + (3180/W)^2)^{1/6}$$

где коэффициент К определяется согласно табл. ниже., а W - тротиловый эквивалент взрыва, определяемый из соотношения

$$0.4 M a N_0 = -\gamma - \frac{1}{\gamma} \frac{q_g}{W} \quad 0,9 \text{ } 4,5-10$$

где  $q_g$  - теплота сгорания газа.

Таблица 3.1 - Константы для определения радиусов зон поражения при взрывных ТВС

Характеристика действия ударной волны	$l^*$ , Пас	$P^*$ , Па	$k$ , Пас
<b>Разрушение зданий</b>			
Полное разрушение зданий	770	70100	886 100
Граница области сильным разрушений: 50-75 % стен разрушено или находится на грани	520	34500	541 000
Граница области значительных повреждений: повреждение некоторых конструктивных эле-	300	14600	119 200
Граница области минимальных повреждений: разрывы некоторых соединений, расчленение	100	3600	8950
Полное разрушение остекления	0	7000	0
50 % разрушение остекления	0	2500	0
10 % и более разрушение остекления	0	2000	0
<b>Поражение органов дыхания незащищенных людей</b>			
50 % выживание	440	243 000	$1,44 \cdot 10^3$
Порог выживания (при меньшим значениям смерт. поражения людей маловероятны)	100	65 900	$1,62 \cdot 10^7$

Таблица 3.2 Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения здания	Избыточное давление ДР, Па	Коэффициент К
A	Полное разрушение здания	>100	3,8
B	Тяжелые повреждения, здание под-	70	5,6
C	Средние повреждения, возможно	28	9,6
D	Разрушение оконных проемов, лег-	14	28,0
E	Частичное разрушение остекления	<2,0	56

Для определения радиуса смертельного поражения человека в соотношении R следует подставлять величину  $K = 3,8$ .

3.2. Оценка поражающего воздействия при тепловом излучении огневых (огненных) шаров

Следует говорить о дозе излучения Д (случай огненного шара).

Величина  $c_{кр}$  для различных степеней поражения человека приведена в таблице ниже.

Таблица 15 - Воздействие теплового излучения на человека

Степень поражения	Интенсивность излучения
Без негативных последствий в течение неограниченного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20-30 с. Ожог 1-й степени через 15-20 с. Ожог 2-й степени через 30-40 с.	7,0
Непереносимая боль через 3-5 с. Ожог 1-й степени через 6-8 с. Ожог второй степени через 12-16 с.	10,5
Летальный исход с вероятностью 50% при длительности воздействия около 10 с.	44,5

В качестве вероятностного критерия оценки поражения тепловым излучением возможно использование понятия пробит-функции. Для оценки различных степеней поражения человека тепловым излучением через величины пробит-функции могут быть использованы следующие формулы:

для ожога первой степени

$$Pr = -39,83 + 3,0186 \ln(I^{4/3})$$

для ожога второй степени

$$Pr = -43,14 + 3,0186 \ln(I^{4/3})$$

летальный исход (в отсутствии защиты)

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln(\Gamma^{4/3})$$

летальный исход (при наличии защиты)

$$Pr = -37,23 + 2,56 \ln(\Gamma^{4/3})$$

где  $\Gamma$  - эффективное время экспозиции, с;

$\Gamma$  - интенсивность теплового излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Эффективное время экспозиции  $\Gamma$  может быть вычислена по формулам: для огненного шара

$$\Gamma = 0,92 m^{0,303}$$

где  $m$  - масса горючего вещества участвующего в образовании «огненного шара», кг.

Расчет расхода газа по методике определения расчетных величин пожарного риска.

И составит:

Расчет массовой скорости истечения сжатого газа по формуле ПЗ.11-3.14 Методики определения расчетных величин пожарного риска на ПО, 2009

Исходные данные

Давление в оборудовании = 300000,00 Па

Температура в оборудовании = 0,02 К

Молярная масса ОВ = 0,02 кг/моль

Показатель адиабаты = 1,42 Площадь отверстия = 9,2E-003 м<sup>2</sup> Коэффициент истечения = 0.8 Истечение - сверхкритическое

Массовая скорость истечения = 3,88 кг/с

Количество газа участвующего во взрыве при разгерметизации подводящего

газопровода к ГРП приведено в таблице ниже. Расчет количества участвующего в аварии при разгерметизации емкостного оборудования со спиртом объемом 122 м<sup>3</sup>.

Количество вещества участвующего в аварии при разгерметизации емкостного оборудования со спиртом определяется из площади обвалования с поверхности которого происходит испарение и условий испарения (температуры жидкости), а также исходя из окружающего пространства. Коэффициент участия принят равным 0,5 (как для закрытых помещений).

Расчет произведен программой «Факел» на основании методики ГОСТ 12.3.047-98.

Таблица 18 - Количество опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов при реализации наиболее опасного по своим последствиям сценария развития аварийной ситуации

№ сценария	Результат развития аварийной ситуации	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, кг	
			участвующего в аварийной ситуации	участвующего в создании поражающих факторов
C1	1. Выброс метана из газопровода P = 0,03 мПа	Дефлаграционное горение	465,6	46,56
C11	Взрыв при аварийной ситуации с разгерметизацией одного из резервуаров и проливом его в обвалование.	Избыточное ударной волны	44	22

Событиями, составляющими сценарии развития аварий, являются:

1. При разгерметизации с выбросом жидкой фазы может сопровождаться:

- возникновением пожара пролива при наличии источника зажигания в непосредственной близости от места разгерметизации;
- испарением жидкости и образованием пожаровзрывоопасного облака

с последующим продвижением его по территории предприятия, горением при встрече с источником зажигания, взрывом;

- образованием токсичного облака из исходных продуктов и продуктов горения.

- Разрушением оборудования, сооружений, зданий при попадании их в зону действия поражающих факторов и возникновению вторичных эффектов “домино”.

- Взрыв паро-воздушной среды или самовозгорание пирофорных отложений внутри аппарата при проникновении в него атмосферного воздуха (при вскрытии оборудования, во время ремонта).

Для спиртохранилищ характерны следующие виды аварий:

- Пожар пролива - горение проливов жидких продуктов - диффузионное горение паров ЛВЖ и ГЖ в воздухе над поверхностью жидкости.

- Взрыв - детонационное горение - сгорание предварительно перемешанных газо- или паро-воздушных облаков со сверхзвуковыми скоростями в открытом пространстве или в замкнутом объеме.

- Пожар - вспышка, волна пламени, сгорание предварительно перемешанных газо- или паро-воздушных облаков с дозвуковыми скоростями в открытом или замкнутом пространстве.

Наибольшую опасность для людей и материальных ценностей представляют поражающие факторы взрыва и пожара пролива.

Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Возникновение поражающих факторов, представляющих опасность для людей, а также зданий, сооружений и техники, расположенных вокруг территории газопровода высокого давления, ГРУ, котельной, возможно при:

- пожарах, причинами которых являются, разгерметизация трубопроводов, возникновении искр, образующихся при соударении друг с другом фрагментов трубы, либо при ударах о трубу «выдуваемых» высокоскоростными струями каменистых включений грунта;

- не контролируемом высвобождении запасенной на объекте энергии

(химическая энергия - природный газ; запасенная механическая энергия - работа оборудования, агрегатов и механизмов; кинетическая - движущиеся по территории автомобили и др. техника).

Возможными причинами аварий могут быть:

- разрыв линейной части газопровода (усталость металла, коррозия; брак сварки; механическое повреждение оборудования в результате нарушения регламента работ и т.д.);
- гипотетическая авария с разгерметизацией технологических систем.

Событиями, составляющими сценарий развития аварий являются:

а) выброс газа (образование горящих факелов, пожар с последующим вовлечением окружающего оборудования и транспортных средств, несущих конструкций, трубопроводов);

б) образование и дрейф облака топливовоздушной смеси (взрывное превращение облака, образование воздушной ударной волны, формирование огневого шара, разрушение окружающего оборудования и транспортных средств, несущих конструкций, трубопроводов);

В качестве поражающих факторов рассмотрены:

- воздушная ударная волна;
- тепловое излучение.

Для оценки степени разрушений и количества, пострадавших от воздушной ударной принимались следующие значения:

Таблица 19 - Оценка степени разрушений и количества пострадавших

Характер повреждений элементов зданий и воздействия на человека	P, кПа
Разрушение остекления	5
Разрушение перегородок и кровли кирпичных зданий	15
Разрушение стен кирпичных зданий	40
Отсутствуют летальные исходы, возможны травмы от разрушения	5.9-8.3
Летальный исход маловероятен, временная потеря слуха или травмы	16
Летальный исход возможен, травмы серьезные	24
Летальный исход в 50% случаев	55
Летальный исход	70

Для оценки разрушений и количества пострадавших от теплового излучения горящих факелов принимались следующие значения

Характер повреждений элементов зданий и воздействия на человека	Интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>
<u>Стальные конструкции (Т<sub>воспл</sub>=300 оС) разрушение</u>	
10 минут	30
30 минут	20
50 минут	15
<u>Кирпичные конструкции (Т<sub>воспл</sub>=700 оС) разрушение</u>	
10 минут	95
30 минут	55
50 минут	35
<u>Летальный исход</u>	
10 секунд	45
30 секунд	35
1 минута	20
10 минут	10
<u>Ожог 2-ой степени</u>	
10 секунд	20
30 секунд	10.5
1 минута	8
10 минут	6

#### Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений

Наименование степени	Характеристика степени разрушения зданий и сооружений
Полная	Разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений,
Сильная	Разрушение части, стен и перекрытий. Верхних этажей. Обра-
Средняя	Разрушение второстепенных элементов (крыш, перегородок, оконных и дверных заполнений). Перекрытия не разрушаются. Помещения пригодны для использования после расчистки от обломков и проведения ремонта
Слабая	Разрушение оконных и дверных заполнений и перегородок. По-

Воздействию поражающих факторов может подвергнуться персонал котельной или цехов предприятия, случайные прохожие, близлежащие здания и сооружения.

В качестве показателя воздействия тепловых потоков на людей принят процент людей, получивших ожоги 1-ой и 2-ой степени, а также смертельное поражение.

Воздействие тепловых потоков на здания и сооружения оценивается возможностью воспламенения горючих материалов.

В пределах огневого шара или горящего факела люди получают смертельное поражение, все горючие материалы воспламеняются.

Анализ условий возникновения, путей развития аварий и оценки их последствий позволяет установить возможность перехода аварийной ситуации на объекте на уровень «Б».

#### Контрольные вопросы

1. Какие события являются, составляющие сценария развития аварий?
2. Какие виды аварий характерны для спиртохранилищ?
3. Какие возможны причины аварий могут быть?
4. Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений?
5. Какие поражающие факторы представляют опасность для людей и сооружений расположенных вокруг территории газопровода высокого давления ГРУ?

#### Список литературы:

1. РД 03- 418 – 01
2. ПБ 09 – 540 – 03
3. РД 03 – 409 – 01
4. ГОСТ 12.3.047-98.

### 3. Курс лекций по дисциплине

#### Лекция 1. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ

Рассматриваемые вопросы:

1. Методы анализа и оценки риска
- 1.2. Оценка ущербов
  - 1.2.1. Основные принципы системного анализа и моделирования процесса причинения ущерба
  - 1.2.2. Оценка величины ущерба. Классификация методов оценки
  - 1.2.3. Методы оценки ущерба
  - 1.2.4. Модели оценки ущерба
- 1.3. Расчет степени риска

#### 1. Методы анализа и оценки риска

Существуют определенные требования к методу анализа риска.

Он должен:

- быть научно обоснованным и соответствовать сложности и природе исследуемой системы;
- давать результаты в форме, обеспечивающей понимание природы риска и способов его контроля;
- быть типовым и обладать свойствами, обеспечивающими возможность прослеживаемости, повторяемости и контролируемости.

Должно быть представлено обоснование по выбору метода с точки зрения его уместности и пригодности.

Кроме того, на выбор метода анализа рисков влияют:

- стадия разработки системы; на ранней стадии развития системы могут применяться менее детализированные методы;
- задачи анализа; например, в том случае, если предпринимается сопоставительное исследование различных вариантов, может оказаться приемлемым использование довольно грубых моделей последствий для частей системы, не подверженных изменениям;

- типы анализируемой системы и рисков;
- уровень детализации потенциальных рисков; решение относительно глубины проведения анализа должно отражать первоначальное восприятие последствий (несмотря на то, что оно может измениться после получения предварительной оценки);
- требования к людским ресурсам, степени компетентности персонала и другим необходимым ресурсам;
- наличие и доступность информации и данных о системе;
- потребность в модификации/актуализации результатов анализа;
- любые правовые требования и требования контракта.

Далее приведены описания наиболее часто используемых методов анализа риска.

#### Метод построения деревьев событий

Метод построения деревьев событий – это графический способ прослеживания последовательности отдельных возможных инцидентов, например отказов или неисправностей каких-либо элементов технологического процесса или системы, с оценкой вероятности каждого из промежуточных событий и вычисления суммарной вероятности конечного события, приводящего к убыткам.

Дерево событий строится начиная с заданных исходных событий, называемых инцидентами. Затем прослеживаются возможные пути развития последствий этих событий по цепочке причинно-следственных связей в зависимости от отказа или срабатывания промежуточных звеньев системы.

Построение дерева событий позволяет последовательно проследить за результатами (последствиями) каждого возможного исходного события и вычислить максимальную вероятность конечного события от каждого из таких инцидентов.

Анализ риска может происходить и в обратную сторону – от известного последствия к возможным причинам. В этом случае мы получим одно главное событие у основания дерева и множество возможных причин (инци-

дентов) в его кроне. Такой метод называется деревом отказов.

### Деревья отказов

Данный метод представляет собой инверсию дерева событий. Это графическое представление всей цепочки событий, последствия которых могут привести к некоторому главному событию. Иначе говоря, определяются пути, по которым отдельные индивидуальные события могут в результате их комбинированного воздействия привести к потенциально опасным ситуациям.

Реализация метода построения дерева отказов начинается с установления головного нежелательного события, которое принимается за вершину дерева. Далее выявляются все первичные и вторичные события, которые могут вызвать головное событие. В качестве первичных и вторичных событий выбираются все события – как нормальные, характерные для обычной работы, так и отказы технических систем и ошибки человека. Констатируются любые события, возможные в системе, влияющие на возникновение головного события. Установленные события соединяются друг с другом и с головным, посредством специальных логических символов «и», «или». Эти два логических символа являются основными при построении дерева отказов, хотя только этими символами не исчерпываются возможные случаи, возникающие в реальном объекте.

При описании функционирования логических символов имеется в виду, что понятие сигнала на входе или выходе из символа подразумевает какое-то событие с определенной вероятностью реализации.

Таким образом, используя логические символы и обозначение событий, начинают двигаться от вершины дерева, с головного события, устанавливая причинные взаимосвязи между различными событиями.

Рассмотрим для примера процесс построения дерева отказов для случая возможности взрыва и загорания в помещении с оборудованием, магистралями и трубопроводами с легко воспламеняемыми жидкостями.

Головным событием в этом случае будет событие Е – загорание

или взрыв в помещении. Реализация головного события возможна только при совпадении двух событий – образование горючих и взрывоопасных смесей критических концентраций и наличие источника воспламенения. Поэтому здесь использован логический символ «И».

Образование смесей критических концентраций возможно только при совпадении двух событий – утечка горючих веществ от оборудования и недостаточное их удаление из помещения. Появление каждого из этих событий в отдельности не приводит к достижению критических концентраций, а следовательно, и к головному событию. Действительно, даже при наличии утечек горючих веществ и образовании взрывоопасных смесей, при своевременном удалении их из помещения, критические концентрации смесей могут не достигать. Удаление может происходить за счет мощной системы вентиляции или за счет естественных процессов (сквозняки, инфильтрация и т.п.).

Причин, вызывающих появление источника воспламенения, может быть несколько и они связаны логическим элементом «ИЛИ». Приведенное дерево отказов является только небольшим фрагментом, поэтому все вторичные события заключены в прямоугольники и требуют дальнейшего анализа.

В принципе, каждое из этих событий может служить самостоятельной вершиной дерева отказов, для специалиста соответствующего профиля. Например, источники воспламенения, обусловленные электросистемой, могут иметь очень большое развитие. Это и система освещения, система питания оборудования. Причины могут быть разнообразные: короткие замыкания, искрения в контактах, перегрев токоведущих проводов и т.п. Среди причин, обуславливающих возникновение открытого огня в рабочей зоне, может быть одна, связанная с курением.

В дереве отказов в сферу анализа попадают не только неполадки и отказы технических элементов, но и действия человека-оператора, а также возможные действия посторонних лиц.

Анализ с построением дерева отказов позволяет в графическом виде проследить иерархию возможных событий и последствий, приводящих к не-

желательным событиям.

Метод построения дерева отказов позволяет проводить не только качественный, но и количественный анализ. Цель количественного анализа состоит в определении величины риска наступления нежелательного события, выбранного в качестве головного. Кроме того, количественная оценка величины риска головного события позволяет проводить анализ и оценивать эффективность различных мероприятий, направленных на уменьшение риска. Количественный анализ дерева отказов заключается в определении вероятности завершающего головного события, исходя из величин вероятностей совершения начальных исходных событий.

Количественную меру исходных событий выбирают из имеющейся статистики о надежности элементов, технических систем об отказах.

Данные об ошибках и неправильных действиях человека-оператора устанавливаются на основе анализа произошедших случаев и аварий.

Для статистически независимых событий, при логической схеме «ИЛИ», вероятность наступления завершающего выходного события в общем случае вычисляется из соотношения.

С помощью этих соотношений можно вычислить вероятность совершения головного события, находящегося в вершине дерева, основываясь на вероятностных характеристиках исходных событий.

Достоинства метода:

- четкая ориентация на отыскание отказов, выходов из строя, ошибок и неисправных действий человека, приводящих к головному событию;
- учет как отказов технических элементов, так и неправильных действий человека, т.е. учет надежности функционирования всей системы «человек – машина»;
- наглядность;
- возможность глубоко вникнуть в возможные причины, приводящие к головному событию;
- возможность проведения количественного анализа риска, что позво-

ляет решать прямые и обратные задачи прогнозирования.

Основной недостаток метода заключается в том, что для больших многоуровневых систем получаются громоздкие деревья отказов, которые труднообозримы и сложны в понимании, так как логические связи в дереве отказов не всегда могут совпадать с реальными схемами протекающих процессов.

#### Диаграмма «причин-последствий»

При анализе «причин-последствий» используют комбинацию двух методов – построение дерева событий и построение дерева отказов, причем для выявления причин используют дерево отказов, а для установления последствий применяют дерево событий. Построение комбинированной диаграммы проводят, рассматривая все явления и процессы в естественной хронологической последовательности их появления.

Анализ начинается с выбора критического события. Критические события сами по себе не приводят к аварийной ситуации, но они могут нарастать, приводя к конечному негативному событию. Наиболее широкий спектр типичных критических событий заключен в различных отклонениях, возмущениях, флуктуациях основных параметров процессов, протекающих в системе. Это могут быть изменения температуры, давления, концентрации, тока, напряжения, расхода и других величин за пределы номинальных граничных значений.

Анализ по схеме построения дерева событий включает события 1, 2, 3, 4, взаимосвязанные по прямой логике в хронологической последовательности. В качестве инициирующего события для всей диаграммы выбрано критическое событие P0, анализируемое с помощью дерева отказов, для которого исходными событиями являются события E, G, H, K, M.

Аналогичным методом для события 2 критическим является событие P1, для события 3 критическим будет событие P2 и для события 4 – P3.

В итоге получается четыре варианта реализации (1, 2, 3, 4) возможного протекания процессов, каждый из которых имеет свою меру величины риска.

Достоинствами метода «причины-последствия» является большая

наглядность, подробность и глубина анализа, гибкость.

Недостатками являются соединенные недостатки дерева событий и дерева отказов, в том числе чрезмерная громоздкость.

### Сценарный анализ

Сценарный анализ – это метод управления рисками хозяйствующего субъекта, основной принцип действия которого заключается в моделировании возможных ситуаций и последующей количественной оценке рисков на основе выводов, сделанных по результатам моделирования. Главной целью сценарного моделирования является выявление рисков и определение устойчивости организации к последствиям наступления рисков.

Сценарии позволяют анализировать и планировать нестандартные ситуации. Они позволяют понять, при каких условиях может возникнуть благоприятная или неблагоприятная ситуация. Сценарий помогает оценить, как можно и как нужно воздействовать на процессы, приводящие к приемлемым и неприемлемым для организации исходам. Сценарный анализ – систематический способ мониторинга макроэкономической, политической, социальной и технологической среды. Последние рассматриваются как внешние факторы, воздействующие на компанию. Сценарии могут стать основой стратегического планирования.

Большинство подходов к проведению сценарного анализа начинаются с анализа внешней среды организации, затем следует этап непосредственной разработки и формулирования сценариев.

#### 1. Анализ внешней среды

Основной целью первого этапа сценарного анализа является определение наиболее значимых внешних факторов – «ключевых переменных», которые будут являться основой будущих сценариев. Наиболее эффективными методами выявления ключевых переменных могут быть динамический анализ PEST и отраслевой анализ.

Целью динамического анализа PEST является оценка воздействия наиболее значимых факторов окружения на деятельность организации и воз-

возможности изменения их влияния со временем. При этом следует учитывать факторы, являющиеся незначимыми сейчас, но способные в значительной мере повлиять на деятельность организации в рассматриваемой временной перспективе.

При проведении анализа PEST выделяют политические, экономические, социокультурные и технологические факторы воздействия.

В последнее время в связи с лучшим пониманием проблемы загрязнения окружающей среды в факторы воздействия стали включать и экологический фактор.

## 2. Разработка сценариев

Этап включает:

– выбор изменяемых переменных (наиболее значимых факторов, которые будут являться основой сценариев);

– проектирование различных исходов сценариев (детальный анализ выявленных переменных и составление нескольких (не менее двух или трех) их возможных исходов);

– комбинирование ключевых переменных и написание сценариев (установление взаимозависимости между составленными исходами всех рассматриваемых переменных, а также написание самих сценариев).

Включение в сценарий различных исходов переменных, имеющих противоположную направленность и тем самым взаимопротиворечащих друг другу, не имеет смысла. Результатом является образование 7–9 логически сгруппированных исходов различных переменных.

Следующим шагом является объединение полученных 2–3 минисценариев.

## 3. Разработка стратегии в соответствии с составленными сценариями.

Вклад сценарного планирования в дальнейшую разработку стратегии заключается в том, что сценарный метод позволяет разработать разумный набор стратегий, способствующий достижению лучшего результата деятельности организации.

Оптимальным считается нахождение и выбор такой поведенческой стратегии, последствия выполнения которой были бы благоприятны при любом рассматриваемом сценарии развития ситуации. Обычно каждому рассматриваемому сценарию соответствует единственная наиболее благоприятная стратегия. В данном случае необходимо выбрать такую стратегию, которая максимизировала бы выигрыш компании при любом варианте развития ситуации и обеспечивала бы минимальный уровень риска. В том случае, если вероятность реализации одного из предполагаемых сценариев намного выше вероятности реализации остальных, возможно выбрать стратегию, наиболее благоприятную для данного сценария.

#### Оценка величины вероятности

Наиболее распространенными методами оценки вероятности риска являются статистические, аналитические, метод экспертных оценок, метод аналогов.

К вероятностям, используемым при определении количественной оценки риска, относятся вероятности событий и вероятности изменения состояния системы, в том числе вероятности безотказной работы оборудования.

При оценке вероятности существуют общие ошибки или смещения величин риска, которых следует избегать, учитывая следующие особенности:

1. Обычно люди недооценивают низкие вероятности и переоценивают слишком высокие вероятности. Зная об этих тенденциях, следует стремиться их компенсировать, применяя соответствующие гарантированные оценки.

2. Не всегда справедливо предположение о том, что все состояния и события независимы. Для событий, имеющих общую причину с высокой вероятностью появления, общая вероятность выше, чем произведение составляющих вероятностей.

3. Обычно люди оценивают вероятности сценариев, включающих опасность для имущества, и недооценивают или игнорируют распространенные сценарии, такие как возникновение пожара от электрозамыкания или

нагревательного оборудования. Это является причиной использования усеченных данных об инцидентах возникновения пожара при оценке вероятностей возгорания.

4. Обычно инженеры используют данные о тщательном исследовании пожара в каждом инциденте. Это может привести к некоторым заблуждениям при оценке вероятностей, так как базы данных включают только необходимую часть информации о происшедших пожарах, в которой преобладают данные о пожарах с высоким уровнем потерь и со смертельным исходом. Таким образом, могут быть пропущены менее опасные пожары, где фактически происходит большинство смертельных случаев, а также наиболее крупные пожары, наносящие значительный ущерб имуществу.

5. Неблагоразумно считать нулевой вероятностью сценариев, которые никогда не были документально описаны в доступных базах данных по ущербу от пожара. Если подобное упущение отражает недостаток данных, то хорошей практикой может быть использование более высокой вероятности для общего сценария, который включает более точные данные для оценки вероятности. Также возможно использование статистических методов оценки вероятности события, которое еще не произошло.

Величина риска чаще всего складывается из двух величин: вероятности и возможного ущерба.

В качестве количественной оценки вероятности на основе данных обычно используют частоту, которую вычисляют путем деления предполагаемого количества исследуемых событий на период или количество возможностей появления событий. Знаменатель может измеряться в единицах времени (например, количество событий в год), количестве человек (например, количество пожаров на тысячу человек), единицах стоимости имущества (например, количество пожаров на общую стоимость всех зданий и их содержимого), количестве зданий (например, пожары на тысячу зданий данного типа) или других единицах (например, пожары на тысячу компаний, владеющих или использующих производственные здания одного типа).

Базы данных для числителей или знаменателей могут быть созданы на основе выборочных данных (допускающих статистическую выборку данных для оценки размера полной группы или генеральной совокупности, из которой отобрана выборка) или путем сбора сведений (обеспечивающего наиболее полные данные о группе).

Главное преимущество использования моделирования состоит в том, что, в отличие от других методов оценки, оно обычно не только обеспечивает получение количественных оценок, необходимых для анализа риска объекта защиты, но и помогает понять взаимосвязь изменений в объекте защиты с изменениями полученных значений вероятности. Эта взаимосвязь необходима в случае, когда при оценке пожарного риска первоначального состояния объекта защиты не получена приемлемая оценка соответствующего риска.

Использование модели не исключает использование экспериментальных или экспертных данных, но уменьшает потребность в данных по другим переменным.

Оценка вероятности может быть проведена на основе технического или научного анализа.

## 1.2. Оценка ущербов

### 1.2.1. Основные принципы системного анализа и моделирования процесса причинения ущерба

Существует два основных подхода к оценке ущерба в результате реализации риска природных и природно-техногенных процессов.

Первый подход основан на подсчете возможного ущерба от реализации конкретного опасного процесса. Здесь широко используются такие показатели, как общее число жертв, общее число пострадавших, общий объем экономических потерь и т.д.

При втором подходе риск оценивается по тем средствам, которые необходимо вложить в восстановление инфраструктуры территории, челове-

ческого и экологического потенциала после реализации риска.

Если отсутствует точная информации о времени и возможности наступления аварийной ситуации, то необходимо принять решение о дальнейшем ведении деятельности либо о ее приостановке, изменении интенсивности или применении дополнительных мер защиты.

Строки матрицы соответствуют альтернативным вариантам прогноза опасного события, а столбцы – двум вариантам событий: «опасное событие произошло», «опасного события не было». Как видно из матрицы, максимальный ущерб может быть нанесен при отрицательном прогнозе, который не оправдался, а опасное событие все же произошло.

Часто риск оценивается только с точки зрения экономики, а ущерб, наносимый, например, местному населению или окружающей среде, не учитывается. В 70-е годы прошлого столетия чисто экономический подход к оценке риска подвергся критике сначала со стороны экологов, а в последующие десятилетия и со стороны широкой общественности.

В основе этой критики лежат убеждения в том, что экономические методы оценки риска не должны игнорировать так называемые внешние эффекты, связанные с разрушением природной обстановки, стимулированием негативных процессов в экосистемах и среде жизнедеятельности местного населения.

В целом структура возможного ущерба, отражающая риск, охватывает как социально-экономические, так и природные системы.

Большинство техногенных происшествий обусловлено неконтролируемым высвобождением кинетической энергии движущихся машин и механизмов, а также потенциальной или химической энергией, накопленной в сосудах высокого давления и топливовоздушных смесях, конденсированных взрывчатых веществах, ядовитых технических жидкостях и других вредных веществах.

К основным поражающим факторам техногенного характера обычно относят:

а) термический (тепловое излучение, «удар» пламенем или криогенным веществом);

б) дробящее, метательное или осколочное воздействие движущихся тел, включая непосредственные продукты взрыва;

в) агрессивные или токсичные свойства вредных или аварийно опасных химических веществ.

Ущерб от воздействия целесообразно делить на два вида: прямой, или непосредственный, ущерб, обусловленный утратой целостности или полезных свойств конкретного объекта, и косвенный, вызванный разрушением связей между ним и другими объектами.

В общем случае представляется логичным рассмотрение ущерба не только от аварийных, но и систематических вредных выбросов. При этом следует также исходить из необходимости прогнозирования как конкретных форм его причинения людских, материальных и природных ресурсов, так и всевозможных сочетаний подобного разрушительного воздействия этих выбросов. Все это указывает на сложность и трудоемкость одновременного моделирования всех возможных последствий вредных выбросов и априорной оценки наблюдаемого при этом эффекта.

В качестве одного из способов преодоления связанных с этим трудностей часто используется введение понятия «средний ущерб» от одного вредного выброса конкретного типа, а также оперирование вероятностью появления хотя бы одного (любого) из них.

Другой способ упрощенного прогноза последствий разрушительного воздействия аварийно-опасных веществ связан с определением зон поражения, под которыми понимаются объемы пространства или площади поверхности, в пределах которых располагаются не защищенные от этих факторов людские, материальные и природные ресурсы.

Среди способов определения рассматриваемых зависимостей и входящих в них параметров можно выделить и экспериментальные, и теоретические. Первые базируются на статистической обработке эмпирических дан-

ных, накопленных путем изучения последствий реальных происшествий в техносфере либо результатов опыта над животными. Вторые же связаны с моделированием потенциальной жертвы как реципиента (адсорбера, ингалятора) вредных техногенных факторов. Например, при оценке последствий воздействия на человека электротока его моделью может служить сосуд, образованный плохо проводящим ток кожным покровом тела и наполненный почти не имеющим сопротивления ему электролитом (внутренними тканями). Если же моделируются последствия токсического воздействия на живые организмы, то их внутренние органы могут быть представлены в виде совокупности камер, которые постепенно впитывают в себе вредное вещество и разрушаются по этой причине.

Учитывая характеристики процесса и способы прогнозирования ущерба, отметим, что методика расчета ущерба должна основываться на закономерностях появления того ущерба, который обусловлен случайными и непрерывными выбросами энергии и вредного вещества.

При этом его величину следует связывать с объемами и токсичностью таких выбросов, а также с количеством и степенью уязвимости ресурсов, подверженных их вредному воздействию.

Следовательно, можно утверждать о целесообразности включения в методику следующих основных шагов:

- а) идентификации источников энергии и запасов вредных веществ, способных к нежелательному высвобождению;
- б) прогнозирование предпосылок и сценариев таких выбросов;
- в) оценки частоты и объемов неконтролируемых утечек вредного вещества и энергии;
- г) определение размеров зон их разрушительного действия и насыщенности этих зон людскими, материальными и природными ресурсами;
- д) сопоставления сопутствующих вредным выбросам поражающих факторов со стойкостью указанных ресурсов;
- е) прогноза характера разрушительных для них эффектов;

ж) оценка связанного с этим прямого и косвенного ущерба.

### 1.2.2. Оценка величины ущерба. Классификация методов оценки

Если итогом выполнения всех рассмотренных этапов анализа риска являются качественное описание сценариев развития неблагоприятных ситуаций и оценка вероятности их возникновения, то следующим этапом должна стать оценка размеров возможного ущерба.

Понятие ущерба есть экономическая количественная величина, которая должна представляться в стоимостном выражении. Иными словами, ущерб – это оцененные последствия.

Ущерб имуществу изначально выражается в натуральном виде (так называемый «физический ущерб»), т.е. в форме утраты или ухудшения свойств объектов. Далее при помощи определенной методики характеристики ущерба могут быть переведены в денежную форму («денежный ущерб»).

Денежная форма выражения ущерба называется убытками. В финансовой сфере неблагоприятное событие, как правило, уже выражено в количественной форме (например, «получение прибыли ниже запланированной»), и весь процесс оценки ущерба отталкивается от этого события. Ущерб жизни и здоровью граждан также может быть определен в натуральном или денежном виде. Однако вопрос о том, как адекватно оценить, например, стоимость травмы или гибели человека, не имеет в настоящее время однозначного ответа, и на этот счет существуют различные методики, результаты которых могут различаться в сотни раз. Методика оценка ущерба от различных рисков в наиболее полном виде должна включать в себя учет как прямых, так и косвенных убытков.

Прямые убытки – это непосредственный ущерб здоровью, имуществу или имущественным интересам. Косвенные убытки возникают как следствие невозможности какое-либо время осуществлять нормальную деятельность предприятия.

К их числу относятся:

- упущенная выгода;
- убытки в виде претензий и исков вследствие невыполнения обязательств перед контрагентами;
- потеря имиджа организации;
- расходы на юридическое урегулирование дел и т.д.

Последствия большинства неблагоприятных событий не ограничиваются каким-либо одним видом ущерба. Первоначальная причина влечет за собой последовательность событий, развивающихся по цепочке согласно «принципу домино».

Так, подземный толчок может вызвать разрушение системы газоснабжения в здании, что, в свою очередь, вызовет утечку газа, возпламенение и взрыв. В качестве другого примера рассмотрим случай аварии на предприятии, в результате которой может пострадать его имущество, персонал, а также окружающее население. Произойдет загрязнение окружающей среды, ухудшение качества пахотных земель, возгорание лесов. В результате прерывания процесса производства предприятие понесет убытки, связанные с недопоставкой продукции. Потребуется средства на восстановление поврежденных зданий и оборудования. Не исключено, что в результате ремонтных работ будет нанесен дополнительный экологический вред. Кроме того, если потребители продукции предъявят претензии по поводу невыполнения обязательств по поставкам, то предприятие понесет судебные издержки и, возможно, будет вынуждено уплатить штраф.

Для расчета величины ущерба его подразделяют на следующие основные виды:

1. Ущерб имуществу предприятия (основным и оборотным фондам). Общая сумма убытков в данной группе может быть рассчитана как полная восстановительная стоимость оборудования и сооружений, товаров и запасов на складах, включая затраты на строительные работы, монтаж и наладку оборудования.

2. Убытки, связанные с потерей прибыли в результате снижения или остановки производства (упущенная выгода). Из-за наступления неблагоприятных событий может быть прервана нормальная производственная деятельность, и предприятие недополучит запланированную прибыль.

3. Ущерб жизни и здоровью персонала. Необходимость компенсировать его возникает, если по вине предприятия в результате аварии или несчастного случая пострадали его работники. В состав убытков включаются: оплата расходов на лечение травмированных работников, оплата санаторно-курортного лечения, выплаты по нетрудоспособности и инвалидности, компенсации родственникам в случае смерти, компенсации за вынужденные прогулы по болезни и другие виды выплат.

4. Нанесение ущерба окружающей среде. Данный вид ущерба связан с наступлением гражданской ответственности предприятия перед государством и населением, проживающим на загрязненной территории. В состав убытков входят выплаченные компенсации за ухудшение качества жизни на загрязненных территориях (воздуха, воды, продуктов питания), долговременные последствия проявления загрязнения окружающей среды, ухудшение качества и выбытие из оборота природных ресурсов (пахотных земель, водоемов, лесов, флоры и фауны).

5. Нанесение прямого ущерба третьим лицам. Это означает, что в результате деятельности предприятия был нанесен ущерб гражданам и организациям, не связанным с предприятием хозяйственными отношениями. Например, в результате аварии может быть нанесен ущерб жизни, здоровью и имуществу населения, а также имуществу организаций, размещенных на территории, окружающей место аварии или другого инцидента. Общий размер убытков формируется из выплаченных штрафов и компенсаций по искам государственных органов и пострадавших лиц.

6. Убытки, связанные с недопоставкой продукции или услуг потребителям. К ним относятся штрафы за невыполнение обязательств по поставкам продукции или услуг, судебные издержки, компенсации за вынужденный

простой предприятий – потребителей продукции.

Первые две группы рассмотренных ущербов связаны с имущественными рисками и непосредственно отражаются на имущественном положении предприятия.

Ущерб, нанесенный персоналу предприятия в результате наступления чрезвычайных событий, обычно связывается с так называемыми коллективными рисками. Такого рода убытки покрываются в рамках либо административной ответственности предприятия, либо коллективного личного страхования работников.

Три последние группы убытков возникают как следствие наступившей в силу закона гражданской ответственности предприятия перед третьими лицами. Их объем определяется в судебном порядке на основе рассмотрения претензий и исков пострадавших лиц к виновнику происшествия. События, приводящие к нанесению ущерба окружающей среде, и убытки, вытекающие из этого, носят обобщенное название «экологического риск».

### 1.2.3. Методы оценки ущерба

Будем различать методы оценки ущерба от гипотетической и реальной аварии.

Если рассматривается гипотетическая авария, то об этих видах ущерба говорят как о предполагаемых.

Для различных сценариев развития чрезвычайной ситуации расчетным методом получаются различные значения ущерба. В силу влияния на размер ущерба большого числа случайных факторов в задачах прогноза следует рассматривать случайную величину ущерба и ее определение проводить стандартными методами математической статистики.

Если речь идет о мерах защиты и оценке эффективности затрат на защиту, то все виды ущерба называются предотвращенными. Математически предотвращенный ущерб определяется соотношением ущерба до и после принятия мер защиты.

В качестве примера можно рассмотреть предотвращенный экологический ущерб, который рассчитывается как произведение удельного ущерба, наносимого конкретным веществом, на изменение массы его выброса в начале и конце расчетного периода.

Другими словами, для оценки величины экологического ущерба, предотвращенного в результате снижения загрязнения окружающей природной среды (выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты, размещение отходов и т.д.), исходят из разности платежа за загрязнение (без учета проведения мероприятия по его снижению) и величины платежа после проведения намечаемых мероприятий по его снижению.

При рассмотрении последствий аварии различают прямой, косвенный, полный и общий ущерб. В первом приближении ущерб от стихийного бедствия или аварии равен затратам на восстановление положения, существовавшего до их наступления.

Под прямым ущербом в результате аварии понимаются потери и убытки всех представляющих интерес для жизнедеятельности человека объектов, которые попали в зону действия поражающих и вредных факторов опасного явления. Они складываются из ущерба здоровью людей, невозвратных потерь основных фондов, оцененных природных ресурсов в сфере интересов человека, и убытков, вызванных этими потерями, т.е. недобора предприятия прибыли, государством – различных налогов и страховых выплат и пр.

Как прямой ущерб рассчитываются:

- единовременные затраты, направленные на проведение спасательных работ;
- затраты на эвакуацию, временное размещение, переселение людей из зоны бедствия, оказание им срочной медицинской помощи;
- единовременные выплаты пострадавшим и их семьям;
- стоимость разрушенных или нарушенных природных ресурсов;
- остаточная стоимость всего движимого и недвижимого имущества (жилищного фонда, коммунально-бытовой инфраструктуры, коммуникаций,

товаров и нереализованной продукции, основных и оборотных фондов предприятий всех форм собственности).

Составляющие прямого экономического ущерба, как правило, поддаются документальному подтверждению на уровне «первичного звена» (организации, предприятия, муниципального образования), основанному на данных бухгалтерского учета, актов списания имущества, иных документов, имеющих достаточно высокую степень достоверности и поддающихся проверке. Поэтому можно заключить, что прямой экономический ущерб – это в основном документально подтверждаемый экономический ущерб.

Косвенный ущерб от стихийного бедствия или аварии – это потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты, не попавшие в зону действия негативных факторов опасного явления и вызванные нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей, инфраструктуре, а также потери (дополнительные затраты), вызванные необходимостью проведения мероприятий по ликвидации последствий аварии.

К косвенному экономическому убытку от какого-то действия относятся вынужденные затраты, потери, убытки, обусловленные вторичными эффектами (действиями или бездействиями, порожденными первичным действием) природного, техногенного или террористического характера. Косвенный ущерб, в отличие от прямого, может проявляться через длительный отрезок времени; он не имеет четко выраженной территориальной принадлежности и носит, по большей части, так называемый «каскадный эффект», т.е. вторичные действия (бездействия) порождают следующую серию действий (бездействий) и, соответственно, косвенных ущербов.

Проблема состоит в том, что в результате ЧС может быть разрушен производственный объект, потери продукции которого являются основой для развития каскада косвенных потерь. Этот каскад образуется в связи со сложным характером межотраслевых потоков промежуточной продукции в экономике, направленных на выпуск конечной продукции. Существует процесс последовательного наложения косвенных потерь, имеющий вид «ветвящегося

дерева», количество циклов которого ограничено 6–10 циклами, так как анализ последовательности взаимосвязанных событий при возникновении ЧС показывает, что по мере продвижения по их цепочке, во-первых, ослабевает влияние исходного события и, во-вторых, возрастают трудности оценки косвенного ущерба. Исходя из этих соображений в качестве оценки косвенного ущерба часто используется экспертная оценка в долях от прямого ущерба без детализации и анализа отдельных составляющих.

Главными составляющими косвенного экономического ущерба являются:

- косвенный ущерб для самого юридического и физического лица;
- упущенная им выгода в связи с прекращением или приостановкой деятельности;
- утрата нематериальных активов, не отраженных в бухгалтерской документации, утрата технической, экономической, научной документации, программно-математического обеспечения ЭВМ и т.д.;
- категория лица, претендующего на возмещение ущерба;
- участие этого лица в формировании фонда возмещения;
- реальная экономическая ситуация (наличие средств в фонде возмещения);
- потеря товарного вида;
- моральный ущерб;
- экономический ущерб, наносимый «третьим лицам»;
- затраты, связанные с предупреждением и ликвидацией ЧС.

Косвенный экономический ущерб может быть оценен на основе данных физического и прямого экономического ущерба. Однако он, как правило, не поддается (в отличие от прямого экономического ущерба) прямому расчету на основе документальных данных.

Главной составляющей косвенного ущерба для самого юридического и физического лица является упущенная непосредственно им выгода в связи с прекращением или приостановкой деятельности вследствие ЧС техногенно-

го, природного характера или террористической деятельности.

При этом:

– юридическое лицо – предприятие – лишается прибыли и возможности покрытия ранее сделанных затрат, кроме того, несет потери, связанные с необходимостью ликвидации последствий ЧС на самом предприятии;

– физическое лицо лишается источников доходов в результате полной или частичной потери трудоспособности или вынужденного прекращения трудовой (оплачиваемой) деятельности в связи с необходимостью ликвидации последствий ЧС.

Определение таких составляющих косвенного ущерба, как утрата нематериальных активов, утрата технической, экономической, научной документации, программно-математического обеспечения ЭВМ, потеря товарного вида продукции, моральный ущерб и т.д., возможно лишь на основе весьма грубых и произвольных оценок.

Полный ущерб является суммой прямого и косвенного ущербов. Полный ущерб определяется на конкретный момент времени и является промежуточным по сравнению с общим ущербом, который определится количественно в отдаленной перспективе.

Необходимость рассмотрения распределенных во времени или отдаленных проявлений ущерба особенно важна для аварий, связанных с воздействием на компоненты окружающей среды. Сложность расчета ущерба требует учета специфики решаемых с его помощью задач.

Наиболее часто решаются две задачи обоснования:

- предпринимаемых мер защиты;
- размеров возмещаемого ущерба.

Средний ущерб от ЧС можно установить по статистическим данным Ежегодного государственного доклада о состоянии защиты населения и территорий РФ от ЧС природного и техногенного характера (М.: МЧС России, 1996–2005 гг.). Например, средний ущерб от одной ЧС техногенного характера составил в 2000 году 27,8 млн рублей. Для редких событий средний

ущерб можно оценить по расчетным данным для различных сценариев инициирования и развития ЧС и последующего усреднения с учетом весов сценариев.

Подробно методика расчета ущерба приведена в единой межведомственной методике оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, разработанной ФГУ ВНИИ ГОЧС в 2004 году.

#### 1.2.4. Модели оценки ущерба

Расчет рассеивания вредных веществ.

Величину ущерба, наносимого химическими или радиоактивными веществами нельзя оценить, не зная полей их концентрации.

Поэтому одним из способов оценки ущерба является построение моделей прогнозирования зон неуправляемого распространения потоков энергии и вредных веществ, прогнозирования концентрации вредных веществ в техносфере.

Подобные модели применяются также при моделировании водных экосистем, распространении загрязнителей воздушной среды. Это модели, математическим аппаратом построения которых являются уравнения диффузии. Применение этих моделей ограничено, во-первых, необходимостью при их построении делать ряд допущений, в общем случае неверных в реальных ситуациях (например, допущение об отсутствии влияния примесей на скорость течения воды, хотя в реальных условиях в реках, озерах движение воды сплошь и рядом вызвано именно различиями в мутности). Во-вторых, существуют и чисто математические трудности решения подобных систем уравнений.

Также сложность заблаговременного и достоверного определения таких функций предопределена следующими группами факторов:

а) источник – его геометрия, расход, термодинамические параметры;

б) среда – температурная и скоростная стратификация на макроуровне, ее микро неоднородность, нерегулярность, турбулентность;

в) вредное вещество – плотность, размер частиц, их склонность к физико-химическим превращениям после контакта со средой и ограничивающей поверхностью.

Известные ныне модели и методы расчета полей концентраций также можно разделить на три важные группы:

- 1) аналоговые;
- 2) аналитические (гауссовы);
- 3) численного моделирования.

Исходными данными и средствами их верификации служат результаты статистических наблюдений, натуральных и модельных экспериментов, получаемые и обрабатываемые методами теории подобия или другими специальными способами. Естественно, что каждый подход к имеет свои достоинства и недостатки.

Численное моделирование незаменимо для прогноза последствий истечения мощных струй и мгновенных выбросов большого количества веществ, имеющих существенно отличную от несущей среды температуру или плотность, т.е. при разрушениях газопроводов, взрывах токсичных продуктов и проливах сжиженных природных газов. Основанный на процессах массо-, энерго- и теплообмена данный метод позволяет учесть практически все перечисленные выше наиболее существенные факторы, а потому является самым точным, но (одновременно) и самым трудоемким способом построения полей концентраций вредных веществ.

В большинстве случаев, однако, используются аналоговые и аналитические (гауссовы) модели и методы прогнозирования полей концентрации загрязнителя в зонах его рассеяния. Первые из них хорошо применяются в случаях, когда наблюдается устойчивая корреляция между моделью и оригиналом по большинству их основных факторов (источник, вредное вещество, несущая среда). Последние модели и методы, основанные на закономерности

стях турбулентной диффузии и вероятностно-статистических представлениях о рассеянии загрязнителей, не требуют трудоемких расчетов и экспериментов, а потому лучше всего подходят для экспресс-прогноза зон их концентрации.

В модуле 4 описана методика расчета полей концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а также программный продукт, основанный на использовании данной методики.

Методы прогноза полученных людьми токсодоз.

Для определения эффекта токсического поражения человека и других биоособей необходимо как можно точнее оценить полученную ими ингаляционную дозу химических веществ или экспозиционную – радиоактивных. Расчет значений таких доз должен проводиться с помощью моделей поглощения, связывающих их с теми параметрами концентрационного поля, которые прогнозировались в предыдущем разделе.

Возможный поражающий эффект вредных веществ (например, процент гибели людей или других биоособей) может быть оценен двумя способами, каждый из которых основывается на расчете поглощенных токсодоз и использовании зависимостей «доза-эффект». При прогнозе разрушительного эффекта должны также учитываться параметры стойкости потенциальных жертв, зависящие от их возраста, состояния здоровья и интенсивности физической нагрузки (объема вдыхаемого загрязненного воздуха).

Особенности оценки ущерба людям и биоресурсам

Существуют методы измерения и прогнозирования ущерба, связанного с гибелью или травмированием людей, отчуждением недр, уничтожением флоры и фауны как от тяжелых аварий и катастроф, так и от непрерывных вредных материальных выбросов.

При расчете данного вида ущерба в качестве исходных данных, необходимых для определения плотности рассматриваемых ресурсов, следует учитывать число оказавшихся там людей и основных групп биоресурсов.

Ущерб здоровью людей. Социально-экономический ущерб, вызванный

профессиональными заболеваниями и несчастными случаями с временной потерей трудоспособности, может оцениваться числом человеко-дней, необходимых для лечения и реабилитации пострадавших. Если же следовать рекомендациям Международной организации труда, то ущерб обществу от гибели одного «среднестатистического» человека равен 6000–7500 потерянных человеко-дней.

Нетрудно показать, что стоимость одного человеко-дня может быть выражена и в эквивалентном ему денежном исчислении. Для определения его величины следует поделить суточный валовой национальный доход государства или конкретной отрасли на число работающих, т.е. найти прибавочную стоимость одного работника за вычетом расходов на его жизнеобеспечение. В отдельных случаях можно исходить из субъективной оценки стоимости жизни или размеров страховых выплат на случай гибели человека.

Оценка ущерба от загрязнения атмосферы и гидросферы. Подробно методика расчета платежей описана в Инструктивно-методических указаниях по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (утвержденных от 26.01.1993 г. Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ).

При расчете платежей устанавливаются различные нормативы выплат за данные вредные выбросы:

- а) в пределах установленных для них лимитов – К1
- б) сверх установленных лимитов – К2 (руб./усл. т). Эти выплаты предназначаются для снижения либо компенсации соответствующего социально-экономического ущерба.

### 1.3. Расчет степени риска

Эффективность любой финансовой или хозяйственной операции и величина сопутствующего ей риска взаимосвязаны. Не учитывая фактора риска, невозможно провести полноценный инвестиционный анализ. Таким обра-

зом, любая организация, которая ставит целью управлять своими рисками, должна научиться оценивать величину риска и устанавливать взаимосвязь между ней и уровнем доходности конкретной операции. Для оценки степени риска существуют два основных метода: количественный и качественный.

Главная задача качественного анализа – определить факторы риска, этапы и работы, при выполнении которых риск возникает, т.е. установить потенциальные зоны риска, после чего идентифицировать все возможные риски.

Количественный анализ риска применяется для определения численных размеров отдельных рисков и риска проекта в целом. При количественном анализе риска могут использоваться различные методы.

Наиболее распространенными являются: анализ чувствительности, анализ сценариев, анализ моделей (метод «Монте-Карло»).

Чем выше вероятность получения низкого дохода или даже убытков, тем рискованнее проект и, соответственно, тем выше должна быть норма его доходности.

При выборе из нескольких возможных вариантов вложения капитала часто ограничиваются абстрактными рассуждениями типа «этот проект кажется менее рискованным» или «в этом случае прибыль больше, но и риск, вроде бы, больше». Между тем степень риска в большинстве случаев может быть достаточно точно оценена; также может быть определена величина доходности предлагаемого проекта, соответствующая данному риску.

Опираясь на полученные результаты, потенциальный инвестор может не только выбрать наиболее привлекательный для него способ вложения денег, но и значительно сократить степень возможного риска.

1. Статистические методы оценки, базирующиеся на методах математической статистики, т.е. дисперсии, стандартном отклонении, коэффициенте вариации. Для применения этих методов необходим достаточно большой объем исходных данных, наблюдений.

2. Методы экспертных оценок, основанные на использовании знаний экспертов в процессе анализа проекта и учета влияния качественных факторов.

3. Методы аналогий, основанные на анализе аналогичных проектов и условий их реализации для расчета вероятностей потерь. Данные методы применяются тогда, когда есть представительная база для анализа и другие методы неприемлемы или менее достоверны. Методы аналогий широко практикуются на Западе, поскольку в практике управления проектами оценка проектов обычно осуществляется после их завершения; таким образом, накапливается значительный материал для последующего применения.

4. Комбинированные методы, включающие в себя использование сразу нескольких методов.

Используются также методы построения сложных распределений вероятностей (дерева решений), аналитические методы (анализ чувствительности, анализ точки безубыточности и пр.), анализ сценариев.

Риск, связанный с проектом, характеризуется тремя факторами:

- событие, связанное с риском;
- вероятность рисков;
- сумма, подвергаемая риску.

Чтобы количественно оценить риски, необходимо знать все возможные последствия принимаемого решения и вероятность последствий этого решения.

Выделяют два метода определения вероятности.

Объективный метод определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой происходят некоторые события. Частота при этом рассчитывается на основе фактических данных.

Если значение потерь находится в зоне I (до точки D) и не превышает значения расчетной прибыли П1, то это зона допустимых рисков; если в зоне II (от точки D до точки K) до значения расчетной прибыли П2 – это зона критического риска; если в зоне III (от точки K до точки Kt) до значения имущественного состояния П3 – это зона катастрофического риска.

Если нанести на кривую распределения вероятностей получения потерь P (П) граничные точки рисков D, K, Kt, то можно установить вероятность возникновения соответствующих рисков. В среднем для зоны I (допустимых

рисков) вероятность возникновения такой ситуации возможна в 70 случаях из 100 (условный пример), для зоны II критические риски могут возникнуть в 40 случаях из 100 и для III зоны (зоны катастрофических рисков) – в 20 случаях из 100. Из этого видно, что любой проект имеет определенную степень рисков.

Важными понятиями, применяющимися в вероятностном анализе рисков, являются понятия альтернативы, состояния среды, исхода.

Альтернатива – это последовательность действий, направленных на решение некоторой проблемы. Примеры альтернатив: приобретать или не приобретать новое оборудование; решение о том, какой из двух станков, различающихся по характеристикам, следует приобрести; следует ли внедрять в производство новый продукт и т.д.

Состояние среды – ситуация, на которую лицо, принимающее решение, не может оказывать влияние (например, благоприятный или неблагоприятный рынок, климатические условия и т.д.).

Исходы (возможные события) возникают в случае, когда альтернатива реализуется в определенном состоянии среды. Это некая количественная оценка, показывающая последствия определенной альтернативы при определенном состоянии среды (например, величина прибыли, величина урожая и т.д.).

Анализируя и сравнивая варианты инвестиционных проектов, инвесторы действуют в рамках теории принятия решений.

Понятия неопределенности и рисков различаются между собой.

Вероятностный инструментарий позволяет более четко разграничить их.

В соответствии с этим в теории принятия решений выделяются три типа моделей:

1. Принятие решений в условиях определенности – лицо, принимающее решение (ЛПР), точно знает последствия и исходы любой альтернативы или выбора решения. Эта модель нереалистична в случае принятия решения о долгосрочном вложении капитала.

2. Принятие решений в условиях рисков – ЛПР знает вероятности наступления исходов или последствий каждого решения.

3. Принятие решения в условиях неопределенности – ЛППР не знает вероятностей наступления исходов каждого решения.

Если имеет место неопределенность (т.е. существует возможность отклонения будущего дохода от его ожидаемой величины, но невозможно даже приблизительно указать вероятности наступления каждого возможного результата), то выбор альтернативы инвестирования может быть произведен на основе одного из трех критериев.

Например, решение о капиталовложениях вряд ли будет принято в условиях полной неопределенности, так как инвестор приложит максимум усилий для сбора необходимой информации. По мере осуществления проекта инвестору поступает дополнительная информация об условиях реализации проекта и таким образом ранее существовавшая неопределенность «снимается». При этом информация, касающаяся проекта, может быть, как выражена, так и не выражена в вероятностных законах распределения. Поэтому в контексте анализа инвестиционных проектов следует рассматривать ситуацию принятия решения в условиях рисков. Итак, в этом случае:

- известны (предполагаются) исходы или последствия каждого решения о выборе варианта инвестирования;
- известны вероятности наступления определенных состояний среды.

При проведении анализа проектного риска сначала определяются вероятные пределы изменения всех «рисковых» факторов (или критических переменных), а затем проводятся последовательные проверочные расчеты при допущении, что переменные случайно изменяются в области своих допустимых значений. На основании расчетов результатов проекта при большом количестве различных обстоятельств анализ рисков позволяет оценить распределение вероятности различных вариантов проекта и его ожидаемую ценность (стоимость).

При вероятностных оценках рисков в случае отсутствия достаточного объема информации для вычисления частот используются показатели субъективной вероятности, т.е. экспертные оценки.

Субъективная вероятность является предположением относительно определенного результата, основывающемся на суждении или личном опыте оценивающего, а не на частоте, с которой подобный результат был получен в аналогичных условиях.

Экспертный анализ рисков применяют на начальных этапах работы с проектом в случае, если объем исходной информации является недостаточным для количественной оценки эффективности (погрешность результатов превышает 30 %) и рисков проекта.

Достоинствами экспертного анализа рисков являются:

- отсутствие необходимости в точных исходных данных и дорогостоящих программных средствах;
- возможность проводить оценку до расчета эффективности проекта;
- простота расчетов.

К основным недостаткам следует отнести:

- трудность в привлечении независимых экспертов;
- субъективность оценок.

Эксперты, привлекаемые для оценки рисков, должны:

- иметь доступ ко всей имеющейся в распоряжении разработчика информации о проекте;
- иметь достаточный уровень креативности мышления;
- обладать необходимым уровнем знаний в соответствующей предметной области;
- быть свободными от личных предпочтений в отношении проекта;
- иметь возможность оценивать любое число идентифицированных рисков.

Алгоритм экспертного анализа рисков может быть следующим:

- по каждому виду рисков определяется предельный уровень, приемлемый для организации, реализующей данный проект; предельный уровень рисков определяется по сто балльной шкале;
- устанавливается, при необходимости, дифференцированная

оценка уровня компетентности экспертов, являющаяся конфиденциальной;  
оценка выставляется по десятибалльной шкале;

– риски оцениваются экспертами с точки зрения вероятности наступления рисков события (в долях единицы) и опасности данных рисков для успешного завершения проекта (по сто балльной шкале);

– оценки, проставленные экспертами по каждому виду рисков, сводятся разработчиком проекта в таблицы; в них определяется интегральный уровень по каждому виду рисков;

– сравниваются интегральный уровень рисков, полученный в результате экспертного опроса, и предельный уровень для данного вида и выносятся решение о приемлемости данного вида риска для разработчика проекта;

– в случае, если принятый предельный уровень одного или нескольких видов рисков, ниже полученных интегральных значений, разрабатывается комплекс мероприятий, направленных на снижение влияния выявленных рисков на успех реализации проекта, и осуществляется повторный анализ рисков.

Экспертный метод может быть реализован путем обработки мнений опытных предпринимателей и специалистов. Желательно, чтобы эксперты сопровождали свои оценки данными о вероятности возникновения различных величин потерь. Можно ограничиться получением экспертных оценок вероятностей допустимого критического риска либо оценить наиболее вероятные потери в данном виде предпринимательской деятельности.

Каждому эксперту, работающему отдельно, представляется перечень возможных рисков и предлагается оценить вероятность их наступления, основываясь, например, на следующей системе оценок:

- 0 – несущественный риск;
- 25 – рисковая ситуация, вероятнее всего, не наступит;
- 50 – о возможности риска нельзя сказать ничего определенного;
- 75 – рисковая ситуация, вероятнее всего, наступит;
- 100 – рисковая ситуация наступит наверняка.

Затем оценки экспертов подвергаются анализу на их противоречивость. Результаты такого анализа должны удовлетворять следующему правилу: максимально допустимая разница между оценками двух экспертов по любому виду риска не должна превышать 50, что позволяет устранить недопустимые различия в оценках экспертами вероятности наступления отдельного риска.

При наличии трех экспертов должно быть сделано три оценки: для попарного сравнения мнений первого и второго экспертов, второго и третьего, первого и третьего.

Например, если три эксперта дали следующие заключения по одному из рисков: А – 25; В – 50, то в данном случае разности оценок составляют: АВ = 25 и ВС = 25, что удовлетворяет необходимому условию.

Разновидностью экспертного метода является метод Дельфи. Он характеризуется анонимностью и управляемой обратной связью. Анонимность членов комиссии обеспечивается путем физического разделения, что не дает им возможности обсуждать ответы на поставленные вопросы. Цель такого разделения – избежать «ловушек» группового принятия решения, доминирования мнения лидера. После обработки результата через управляемую обратную связь обобщенный результат сообщается каждому члену комиссии. Основная цель – позволить ознакомиться с оценками других членов комиссии, не подвергаясь давлению из-за знания того, кто конкретно дал ту или иную оценку. После этого оценка может быть повторена.

При экспертной оценке предпринимательского риска большое внимание следует уделять подбору экспертов, так как именно от правильности их оценок зависит решение о выборе того или иного предпринимательского проекта.

Еще один важный метод исследования риска – моделирование задачи выбора с помощью «дерева решений». Данный метод предполагает графическое построение вариантов решений, которые могут быть приняты. По ветвям «дерева» соотносят субъективные и объективные оценки возможных событий. Следуя вдоль построенных ветвей и используя специальные методики

расчета вероятностей, оценивают каждый путь и затем выбирают менее рискованный.

Данный метод имеет и негативные факторы, усложняющие его использование:

- трудоемкость;
- учет в «дереве» только тех действий, которые намерен совершить предприниматель, и только тех исходов, которые, с его точки зрения, могут иметь место.

При этом совсем не учитывается влияние внешней среды на деятельность предпринимательской фирмы, а предприниматель не всегда может предвидеть действия партнеров и конкурентов.

В том случае, если другие методы оценки риска неприемлемы, используют метод аналогий. При использовании аналогов применяются базы данных о риске аналогичных проектов или сделок, исследовательские работы проектно-изыскательских учреждений. Полученные таким образом данные обрабатываются для выявления зависимостей в законченных проектах с целью учета потенциального риска при реализации нового предпринимательского проекта или сделки.

Вопросы о том, какой риск можно считать приемлемым и где проходит граница между приемлемым и неприемлемым рисками, являются одними из самых сложных и важных в практике риск-менеджмента. Как правило, для получения ответов на эти вопросы менеджер должен принять соответствующие управленческие решения, которые могут существенно отличаться друг от друга в разных ситуациях и для различных областей бизнеса. На решения риск-менеджера, очевидно, будет влиять специфика самого процесса принятия решений, в частности, склонность менеджера к риску. Тем не менее, несмотря на некоторую субъективность таких решений, они будут определяться следующими факторами:

1. Особенности измерения риска. Численное выражение уровня риска позволяет установить подходящие пределы (интервалы значений) для прием-

лемого риска, что облегчает контроль соблюдения соответствующих целевых установок. Однако очевидно, что разные методики измерения риска могут привести к различным представлениям о том, как можно выразить приемлемый риск. Поэтому подобные методики важны не только для идентификации и классификации рисков, они также встраиваются в алгоритмы выбора методов управления рисками оценки эффективности программ риск-менеджмента.

2. Традиции ведения данного бизнеса и корпоративной культурой, а также предписаниями и рекомендациями надзорных органов. Действительно, решения о том, что есть приемлемый риск, часто принимаются по аналогии с существующей практикой и в соответствии с действующими нормативными документами. Независимо от того, насколько четко прописаны в законодательстве соответствующие ограничения и насколько жесткие формально закрепленные в нем санкции за нарушение этих ограничений, любые значительные отклонения от принятого всеми подхода могут восприниматься как опасные и необоснованные. В частности, такой точки зрения, скорее всего, будут придерживаться суды при разбирательстве дел, связанных с обязательствами по возмещению ущерба.

3. Специфика принятой программы управления риском. Влияние этого фактора основывается на том, что разное сочетание методов управления риском (например, решение о величине рисков, оставляемых на собственном удержании) может изменить представления менеджеров о степени приемлемости тех или иных рисков. Поэтому установление уровней приемлемого риска может пересматриваться в ходе формирования программы управления риском.

Простейшим способом установления уровня приемлемого риска является определение пороговых значений критериальных показателей.

Такие интервалы могут рассматриваться как целевые предписания для процесса управления риском, а также в качестве инструмента согласования отдельных методов управления риском и оценки эффективности программы

управления риском в целом. Пороговые значения, используемые при таком подходе, определяются финансовыми возможностями фирмы, принятой общей стратегией управления и развития фирмы и вариантом управления рисками.

В качестве соответствующих критериальных показателей, для которых устанавливаются пороговые значения, как правило, используются так называемые меры риска, т.е. величины, численно выражающие размер соответствующего риска. Чаще всего это размер ущерба или вероятность его возникновения.

В случае, если рассматривается не отдельный риск, а портфель рисков, выбирают соответствующий критериальный показатель (например, размер возможного убытка) не по отдельному риску, а по всей совокупности рисков. Тогда указанные пороговые значения следует устанавливать для всего портфеля рисков, что будет способствовать проведению единой политики риск-менеджмента. Если подходить к проблеме строго, то дополнительно должны быть заданы пороговые значения и для каждого риска или каждого метода управления рисками.

Выбор того или иного критериального показателя зависит от конкретных условий оценки риска, его специфики и особенностей всего процесса управления риском. Так, если сравнивать установление пороговых значений в терминах вероятностей и в терминах размера убытка, то последний подход в некоторых ситуациях предпочтительнее. В частности, если границы соответствующего интервала выражаются в денежной форме, менеджеру бывает проще их оценить.

При выявлении и оценке источников и масштабов максимально возможного потенциального убытка менеджер должен рассматривать проблему комплексно. Должны быть приняты во внимание все возможные последствия потенциальных рисков, например возможные катастрофы, попытки шантажа, терроризм, похищение служащих, взрывы.

Планирование критических ситуаций является неотъемлемой частью

программы управления рисками при определении максимально возможного убытка, так как только в этом случае можно достаточно точно оценить вероятность возникновения убытков и составить планы по преодолению кризисной ситуации.

Однако, как показывает практика, менеджеру в общем случае не всегда следует планировать только самые худшие ситуации. Так, очевидно, что трата времени и денег на подготовку к тысячелетней засухе представляет пример нерационального использования ресурсов. В тоже время планирование наиболее вероятного риска, с которым фирма может столкнуться каждые 5–10 лет, является более разумным.

Для того чтобы знать, способна ли фирма выдержать все убытки самостоятельно, должна ли она передать часть ответственности по ним другим субъектам или отказаться от каких-либо рисков, менеджер должен определить максимально возможный, наиболее вероятный и ожидаемый убыток как для всей компании, так и по каждому классу рисков.

В общем случае под максимально возможным убытком понимают наибольший финансовый вред (ущерб), причиненный фирме убытком при наихудшем стечении обстоятельств. Здесь важен момент наихудшей критической для фирмы ситуации. Прямой убыток (например, пожар в каком-либо производственном цехе) может привести к целой цепочке прямых и косвенных отрицательных последствий (травмы работников, утечка химических веществ, остановка производства и тем самым недопроизводство продукции, потеря дохода и возникновение дополнительных расходов и т.п.).

Подход, основанный только на анализе интервалов значений приемлемого риска, имеет ряд существенных ограничений практического применения. В первую очередь это связано с необходимостью учета взаимосвязей между пороговыми значениями для разных критериальных показателей. Другой причиной являются недостатки используемых показателей. Концепция рискованного капитала является очень популярной. В настоящее время она широко используется при управлении рисками,

особенно финансовыми. Основная проблема практического оценивания значения рискового капитала – дефицит информации для построения распределения ущерба, поэтому разрабатываются методы косвенной оценки.

В общем понимании карта риска – это графическое и текстовое описание ограниченного числа рисков, расположенных в таблице, по одной оси которой указана сила воздействия или значимость риска, а по другой – вероятность или частота его возникновения. Такое понимание карты риска традиционно для многих западных и российских исследований. По вертикальной оси отражается вероятность потерь (от низкой до высокой); по горизонтальной оси – значимость риска или влияние (в денежных единицах, от низкой до высокой). Другими словами, каждый выявленный риск может быть определен двумя характеристиками и отражен на плоскости. Тогда величина риска в абсолютном выражении равна произведению вероятности и влияния.

Наиболее критичные виды рисков попадут в красную зону, а те, с которыми организация сталкивается очень часто, – в зеленую. Таким образом, вероятность появления риска увеличивается снизу вверх при продвижении по вертикальной оси, а его влияние увеличивается слева направо по горизонтальной оси. В зависимости от целей можно построить разные карты риска или вариации одной.

В общем случае процесс картографирования рисков – часть систематической методологии, охватывающей все стороны деятельности организации и позволяющей выделить, расположить по приоритетам и оценить количественно (разбить на кластеры) риски организации.

Карта рисков очень удобна, например, для того, чтобы показать топ-менеджерам риски и степень их опасности. Простота ее построения позволяет сразу оценить риски, на которых стоит заострить внимание.

Методы, которые применяют специалисты при составлении карты рисков, включают интервью, формализованные и неформализованные опросники, обзоры и исследования отрасли, анализ документационного комплекта организации, численные методы оценки и т.д. Методологии построения кар-

ты рисков так же различны, как различны риски организаций. За простой и интуитивно понятной графической формой кроются сложные процедуры количественной оценки, формирующие агрегированные представления для риск-менеджеров и руководства компаний.

Карты рисков могут создаваться отдельно по их типам, затем на общую карту вносятся наиболее критичные риски и т.д. Карты формируются и в разрезе различных факторов (например, внутренних или внешних факторов риска).

Специалисты выделяют также карты остаточных рисков, т.е. оставшихся после принятия защитных мер.

Обратим внимание, что для рассматриваемого нами примера на карте остаточных рисков компании N нет рисков под номерами 5 и 18: они не превышают предельно допустимого уровня рисков, установленного в банке. Для всех остальных разрабатываются меры по снижению, строится новая карта, т.е. повторяется весь алгоритм.

Безусловно, представленные карты рисков являются лишь упрощенным вариантом этого инструмента. Продвинутые методики допускают формирование карт рисков с учетом ключевых индикаторов, установленных лимитов для мер контроля за рисками и др.

Матрица рисков является инструментом оценки рисков, который предполагает некоторую форму градации рисков. Она имеет диапазон по осям последствий и вероятности. Матрица рисков демонстрирует руководителю и тому, кто принимает решения, более четкий вид того, в чем заключается риск, что в него вовлечено (относительно затрат, изменений в процедурах и т.д.) и какой объем времени может быть уделен, принимая во внимание суровость и вероятность риска. Она может помочь руководителю представить в более организованном формате риски, которые ему могут повстречаться, подготовиться и принять более верные решения в случае возникновения риска.

Чтобы составить эффективную матрицу рисков, необходимо:

1. Определить, для чего будет использоваться матрица рисков. Обычно

матрица рисков рассматривается во время задач, включающих в себя анализ опасности и проверку эксплуатационной безопасности.

В зависимости от целей использования матрицы следует установить уровни толерантности или приемлемости рисков, а также способ оценки эффективности действий по избеганию.

2. Определить последствия и вероятности. Типичная матрица рисков представлена сеткой размером 4×4. По вертикальной оси расположены критерии вероятности (редкие, маловероятные, возможные, очень вероятные, определенные), а по горизонтальной оси – критерии последствий (незначительные, минимальные, критичные, катастрофические).

Последствия рисков, как это показано в сетке, используют слова в качестве описания и ранжируются согласно суровости: незначительные, минимальные, критичные, катастрофические. Незначительные риски меньше всего вредят проекту, и потому их ранг минимален. Катастрофический риск – это тот, который будет иметь наибольшее значение в ранжировании по суровости. Толерантность определяется путем определения материальных значений для каждого параметра суровости, а также по некоторым качественным характеристикам описываемых последствий. К примеру, незначительные риски – это те, которые подразумевают затраты в 2–10 тыс. долларов и могут незначительно повлиять на сотрудников, не нарушают каких-либо законов или обладают минимальным влиянием на окружающую среду. Они и получают ранг 1 в матрице. Катастрофические риски это те, которые подразумевают потери в 1 млн долларов, могут привести к смерти или инвалидности, к невосполнимому вреду окружающей среды или полному закрытию бизнеса.

Вероятность возникновения рисков определяется такими значениями, как редкий, маловероятный, возможный, очень вероятный, определенный.

Так же, как и с последствиями, критерий стоит измерять каким-нибудь количественным способом (к примеру, «вероятный» означает, что риск может произойти несколько раз на протяжении проекта, не менее 10 и не более

100 раз) и присвоить логические ранги.

Как только критерии влияния и вероятности описаны, можно перейти к определению конкретных инцидентов, событий или условий, которые представляют опасность для бизнеса, и назначить им клетки в матрице. Приемом инцидента в офисе может быть «протекание труб» данному риску можно присвоить блок «редкий» (ранг 5 по вероятности) и «незначительный» (ранг 1 по последствиям).

3. Преобразовать критерии толерантности в матрицу. Матрица должна четко показывать, какие блоки можно опустить, а какие нельзя игнорировать. К примеру, пересечение вероятного риска (ранг 3 по вероятности) с катастрофическим (ранг 4 по последствиям) не может быть проигнорировано ни в каком бизнесе, учитывая те описания, которые были представлены выше.

Данный блок четко указывает на то, что этого риска следует избегать, чего не скажешь о блоке, который находится на пересечении незначительного риска (ранг 1 по последствиям) и определенного (ранг 2 по вероятности) и который можно решить простым изменением организационной политики.

Матрицы рисков стоят того, чтобы их составляли и понимали; тем не менее необходимо соблюдать осторожность при назначении значений и следует позаботиться о том, чтобы не переоценить и в тоже время не забыть придать «защитный слой», включающий в себя активные мероприятия, при выполнении которых уровень риска падает. Как и при всех усилиях, связанных с планированием или управлением рисками, планировщику и аналитику рисков рекомендуется принять более консервативную точку зрения при разработке.

Те, кто принимает решения, должны использовать данный инструмент при составлении политики и включить часть бюджета на разрешение не только постоянных рисков, но и быть готовыми к потенциальным катастрофическим рискам.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте методы построения деревьев событий и деревьев отказов.
2. Дайте характеристику диаграммы «причин-последствий».
3. В чем заключаются особенности метода анализа критичности?
4. Дайте характеристику сценарного анализа.
5. Какими методами можно оценить величину вероятности события?
6. Опишите основные подходы к оценке ущерба.
7. Какие четыре стадии можно выделить в процессе причинения техногенного ущерба? Для каких целей может быть построена модель на каждом из этапов?
8. Перечислите виды ущерба. Чем прямой ущерб отличается от косвенного?
9. В какой форме может быть выражен ущерб?
10. Охарактеризуйте методы оценки ущерба.
11. Каким образом рассчитывается величина риска?
12. Что понимается под субъективной вероятностью?
13. Дайте характеристику метода аналогий. В каких случаях он используется как метод расчета риска?
14. Что понимается под «картой рисков»?
15. Дайте характеристику «матрицы рисков».
16. Ранжирование рисков.
17. Какие две основные категории методов существует для оценки степени риска?
18. На основе каких данных рассчитывается частота, с которой происходят некоторые события, при использовании объективного метода определения вероятности?
19. Как в вероятностном анализе рисков называются возможные события, которые возникают в случае реализации альтернативы в определенном состоянии среды?
20. Какие три типа моделей выделяют в теории принятия решений относи-

тельно неопределенностей и рисков?

21. На основании каких критериев может быть сделан выбор альтернативы инвестирования в случае, если имеет место неопределенность?

22. Какова максимально допустимая разница между оценками двух экспертов при их анализе на противоречивость?

23. Какими факторами может определяться выбор решения риск менеджера относительно установления границы между приемлемым и неприемлемым рисками?

24. Как называется уровень риска, задаваемый значением вероятности, определяющей рисковый капитал?

25. Какие параметры отражаются по вертикальной и горизонтальной осям карты рисков?

26. На каком этапе составления матрицы рисков следует устанавливать уровни толерантности или приемлемости рисков?

27. Исходя из каких факторов выбирается метод анализа риска?

28. Каким ключевым свойством обладает последовательный переход от одного события к другому в «дереве событий»?

29. В каких случаях применим и в каких не применим метод анализа рисков с помощью построения деревьев событий?

30. К какому типу аналитических методов относится метод анализа рисков с использованием «дерева отказов» – к индуктивным или к дедуктивным?

31. Как называются два основных логических оператора, применяемых при построении «дерева отказов»?

32. В чем заключаются основные преимущества анализа рисков с использованием дерева отказов?

33. Комбинация каких двух методов анализа рисков используется при построении диаграммы «причины-последствия»?

34. На каком методе групповой работы основан аналитический метод «что произойдет, если»?

35. Как называется систематический подход к анализу рисков, основанный на

использовании стандартов безопасности и опыта специалистов?

36. По каким категориям критичности могут быть классифицированы отказы при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов?

37. Какие три вида сценариев обычно разрабатываются при проведении сценарного анализа?

38. С чего обычно начинается проведение сценарного анализа?

39. Какие методы оценки вероятности риска употребляются чаще всего?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Г.Н. «Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций» // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 5.

2. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба / Гос. комитет РФ по охране окружающей среды. – М., 1999.

3. ГОСТ Р 51901.10–2009 (ISO/TS 16732:2005). Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии: утв. И введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому урегулированию и метрологии от 1 декабря 2009 г. № 1242. – М.: Стандартинформ, 2010.

4. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера / ФГУ ВНИИ ГОЧС. – М., 2004.

5. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – М.: Лукойл, 2000. – 185 с.

6. Лаева Т.В. Сценарный анализ как основа стратегического планирования в организации // Менеджмент в России и за рубежом. – № 2. – 2006.

7. Муравьева Е.В., Романовский В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты. – Казань, 2007.

8. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора

от 10.07.01 № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2002.

9. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2003. – 512 с.

10. Стоянова Е.С. Финансовый менеджмент. Теория и практика. – М.: Перспектива, 2003.

11. Холина В.Н. Основы экономики природопользования: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.

12. Хохлов Н.В. Управление риском: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 239 с.

13. Оценка рисков. – URL: <http://www.top-audit.ru>.

14. Грищенко Н.Б. Основы страховой деятельности: учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2001. – 274 с.

15. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем / В.Н. Большаков [и др.] // Экология. – 1998. – №5. – С. 339–348.

## Лекция 2. ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ РИСКА

Рассматриваемые вопросы:

2.1 Основные понятия

2.2.Методологические основы управления рисками

### 1.1 Основные понятия

Безопасность населения крупных городов вызывает сегодня особенно большую тревогу. Население урбанизированных районов очень уязвимо при возникновении аварий, катастроф, стихийных и иных бедствий. Концентрация на относительно небольшой территории городов большого количества потенциально опасных объектов, ежедневные перевозки по автомобильным и железным дорогам опасных химических, радиоактивных и взрывчатых веществ требуют прежде всего постоянного контроля за состоянием этих объектов, а также проведения целого ряда мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Объемы производства и потребления опасных веществ в последнее время постоянно возрастают, а возможность возникновения аварий на потенциально опасных объектах в городах усугубляется высокой степенью износа основных производственных фондов, низкими темпами модернизации, нарушением регламента работ и профилактических работ, падением на производстве технологической дисциплины.

На территории России сохраняется высокий уровень техногенной и природной опасности. Современное экологическое состояние территории России можно определить как критическое, а в некоторых регионах оно приобрело характер экологического бедствия. Одним из источников экологического неблагополучия являются аварии и катастрофы, сопровождающиеся выбросами и сбросами загрязняющих химических, радиоактивных, биологических веществ и материалов в окружающую среду. В последние годы информация о техногенных авариях и катастрофах свидетельствует о том, что в России с 1991 г. наметилась устойчивая тенденция роста чрезвычайных ситу-

аций. Этот рост сопровождается увеличением количества погибших и пострадавших людей, материальным ущербом на многие миллиарды рублей, загрязнением огромных лесных территорий, водоемов и рек, пахотных земель и воздушного пространства, уничтожением растительности и объектов животного мира.

Кроме того, техногенные аварии, катастрофы, пожары и стихийные бедствия, происходившие в России в последние годы, оказывают все возрастающее негативное воздействие и на социально-экономическую обстановку.

Одна из важных характеристик системы, от которых зависит ее существование и способность к самосохранению, – опасность.

Под термином «**опасность**» понимается такая ситуация в окружающей среде, когда при определенных условиях возможно возникновение нежелательных событий, явлений и процессов (опасных факторов), воздействие которых на человека и окружающую среду может привести к одному из следующих последствий или их совокупности:

- отклонению здоровья человека от среднестатистического значения;
- ухудшению состояния окружающей среды.

**Природная опасность** – состояние определенных частей литосферы, гидросферы, атмосферы или космоса, представляющее угрозу для людей, объектов экономики, техносферы и биотехносферы. Степень природной опасности зависит от повторяемости и силы опасных природных явлений, пространственных характеристик (площадей развития или зон действия негативных факторов неблагоприятных природных явлений, пространственного распределения очагов возникновения экстремальных природных явлений).

**Антропогенная опасность** – состояние, при котором негативные факторы, формирующиеся главным образом отходами хозяйственной деятельности человека (промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта, повседневной жизни человека, животных), создают угрозу здоровью населения и окружающей природной среде.

**Техногенная опасность** – состояние, при котором негативные факто-

ры, формирующиеся в зонах действия технологических процессов, технических систем и объектов, создают угрозу здоровью промышленного персонала и населению.

Степень техногенной опасности зависит в первую очередь от видов и числа потенциально опасных объектов, накопленного на них потенциала опасности, надежности и устойчивости технологических систем, удаленности объектов от мест проживания людей.

**Опасность территории** – состояние территории, характеризующееся наличием источников природной и техногенной опасности. Эти опасности создают угрозу для жизнедеятельности населения, проживающего на данной территории. Угроза имеет место при хозяйственном освоении районов, где возможны неблагоприятные природные явления, а также зон возможного действия поражающих факторов экстремальных природных явлений и факторов аварий, катастроф и стихийных бедствий.

**Источник опасности** – это ограниченные в некоторой области пространства процессы, которые могут привести к возникновению негативных воздействий на людей, объекты техносферы и природную среду. Такой областью могут быть районы возможного возникновения опасных природных явлений, места захоронения токсичных отходов, промышленные объекты, промышленные зоны и селитебные территории с объектами жизнеобеспечения в целом [6, 10].

Сопровождающие жизнедеятельность человека опасности можно классифицировать:

- по источнику возникновения – природные, техногенные, биолого-социальные;
- по степени распределенности в пространстве – сосредоточенные, распределенные по координатам;
- по возможности реализации – вредные или неблагоприятные для жизнедеятельности районы, потенциально опасные районы (объекты);
- по неопределенности местоположения – с известными (стационар-

ные источники) и неизвестными случайными координатами (трубопроводы, эпицентр землетрясения);

– по продолжительности действия – кратковременные и долговременные; – по регулярности действия – случайные и детерминированные (постоянно действующие) (на урановых рудниках, ядерных реакторах, химических объектах).

Экологические факторы опасности – обусловлены причинами природного характера (неблагоприятными для жизни человека, растений и животных климатическими условиями, физико-химическими характеристиками воды, атмосферы, почв, природными бедствиями и катастрофами).

Социально-экономические факторы опасности – обусловлены причинами социального, экономического и психологического характера (недостаточным уровнем питания, здравоохранения, образования, обеспечения материальными благами; нарушенными общественными отношениями, недостаточно развитыми социальными структурами).

Техногенные факторы опасности – обусловлены хозяйственной деятельностью людей (чрезмерными выбросами и сбросами в окружающую среду отходов хозяйственной деятельности; необоснованными отчуждениями территорий под хозяйственную деятельность; чрезмерным вовлечением в хозяйственный оборот природных ресурсов и т.д.).

При изучении проблемы безопасности человека и природной среды все эти факторы необходимо рассматривать в комплексе, с учетом их взаимного влияния и связей.

Обратное понятие опасности – безопасность. В настоящее время безопасность следует толковать как приемлемый уровень опасности, который зависит от затрат на ограничение действия факторов, инициирующих опасность. В широком смысле безопасность – это способность противостоять угрозам по отношению к жизни, здоровью, благополучию, основным правам человека, источникам жизнеобеспечения, ресурсам, социальному порядку.

Под экологической безопасностью понимают совокупность действий,

состояний и процессов, прямо или косвенно не приводящих к жизненно важным ущербам (или угрозам ущербов), наносимым природной среде, отдельным людям, человечеству.

В рамках вышеприведенных определений экологическая безопасность – это приемлемая на данном этапе социально-экономического развития степень защищенности жизненно важных интересов личности и общества от угроз, которые могут возникнуть в результате изменений (деградации) окружающей природной среды вследствие антропогенного воздействия, а также природных воздействий.

### Источники риска

Основными источниками риска являются:

1. Спонтанность природных процессов и явлений, стихийные бедствия. Проявления стихийных сил природы – землетрясения, наводнения, бури, ураганы, а также отдельные природные явления – мороз, гололед, град, гроза, засуха – могут оказать серьезное отрицательное влияние на результаты хозяйственной деятельности, стать источником непредвиденных затрат.

2. Случайность. Вероятностная сущность многих социально-экономических и технологических процессов, многовариантность материальных отношений, в которые вступают субъекты предпринимательской деятельности, приводят к тому, что в сходных условиях одно и то же событие происходит неодинаково, т.е. имеет место элемент случайности. Это предопределяет невозможность однозначного предвидения наступления предполагаемого результата.

Весьма заметное и не всегда предсказуемое влияние на результаты хозяйственной деятельности оказывают:

- различного рода аварии – пожары, взрывы, отравления, выбросы атомных и тепловых электростанций и т.п.;
- выход из строя оборудования;
- несчастные случаи на транспорте, производстве и мн. др.

Как показывает практика, несмотря на принимаемые обществом меры,

направленные на уменьшение вероятности их появления и снижение величины причиняемого ими ущерба, указанные выше случайные события остаются возможными, их не могут исключить самые дорогостоящие инженерно-технические меры.

Наличие противоборствующих тенденций, столкновение противоречивых интересов. Проявление этого источника риска весьма многообразно – от войн и межнациональных конфликтов до конкуренции и простого несовпадения интересов.

Так, в результате военных действий предприниматель может столкнуться с запретом на экспорт или импорт, конфискацией товаров и даже предприятий, лимитированием иностранных инвестиций, замораживанием или экспроприацией активов или доходов за рубежом и др.

В борьбе за покупателя конкуренты могут увеличить номенклатуру выпускаемой продукции, улучшить ее качество, уменьшить цену и т.п. Существует недобросовестная конкуренция, при которой один из конкурентов усложняет другому осуществление предпринимательской деятельности незаконными, нечестными действиями, включая подкуп должностных лиц, опорочивание конкурента, нанесение ему прямого ущерба.

Наряду с элементами противодействия может иметь место простое несовпадение интересов, которое также способно оказывать негативное воздействие на результаты предпринимательской деятельности.

Например, как показывают исследования, разные группы, участвующие в инновационном процессе, могут занимать различные, подчас противоположные позиции по отношению своей роли к ней – инициативы, содействия, бездействия или противодействия. Позицию инициативы занимают разработчики, содействия – проектировщики, бездействия – пользователи. И наконец, изготовители часто оказывают противодействие, так как перестройка технологических и других процессов, требуемая нововведением, не всегда достаточным образом обеспечивается организационно-экономическими и техническими мероприятиями, соответствующими стимулами.

Наличие коррумпированных структур в управленческом аппарате создает реальные возможности для яростного сопротивления, для появления особенно жестких форм противодействия вплоть до покушения на жизнь и здоровье тех, кто пытается бороться с такими антиобщественными явлениями.

Таким образом, наличие противодействующих и противоборствующих тенденций в общественно-экономическом развитии вносит в социально-экономическую жизнь элементы неопределенности, создает ситуации риска

4. На процесс воспроизводства неопределенности и риска оказывает воздействие вероятностный характер научно-технических открытий. Общее направление развития науки и техники, особенно на ближайший период, может быть предсказано с известной точностью. Однако заранее во всей полноте определить конкретные последствия тех или иных научных открытий, технических изобретений практически невозможно. Технический прогресс неосуществим без риска, что обусловлено его вероятностной природой, поскольку затраты и особенно результаты растянуты и отдалены во времени. Они могут быть предвидены лишь в некоторых, обычно широких, пределах.

5. Существование неопределенности связано также с неполнотой, недостаточностью информации об объекте, процессе, явлении, по отношению к которому принимается решение, с ограниченностью человека в сборе и переработке информации, с постоянной изменчивостью этой информации.

Процесс принятия решений предполагает наличие достаточно полной и правильной информации. Эта информация включает осведомленность: о наличии и величине спроса на товары и услуги, на капитал; о финансовой устойчивости и платежеспособности клиентов, партнеров, конкурентов; о ценах, курсах, тарифах, дивидендах; о возможностях оборудования и новой техники; о позиции, образе действий и возможных решениях конкурентов и др. Однако на практике такая информация часто бывает разнородной, разнокачественной, неполной или искаженной.

Так, например, источником информации о производительности оборуду-

дования могут служить проектные, нормативные или фактические данные. Большинство из них являются укрупненными, усредненными, и между ними имеются значительные расхождения. Кроме того, многие компании намеренно искажают информацию для того, чтобы ввести в заблуждение конкурентов. Таким образом, чем ниже качество информации, используемой при принятии решений, тем выше риск наступления отрицательных последствий такого решения.

6. К источникам, способствующими возникновению неопределенности и риска, относятся также:

- ограниченность, недостаточность материальных, финансовых, трудовых и других ресурсов при принятии и реализации решений;
- невозможность однозначного познания объекта при сложившихся в данных условиях уровне и методах научного познания;
- относительная ограниченность сознательной деятельности человека, существующие различия в социально-психологических установках, идеалах, намерениях, оценках, стереотипах поведения.

Элементы риска и неопределенности в хозяйственную деятельность вносят также:

- необходимость выбора новых инструментов воздействия на экономику в условиях перехода от экстенсивных к интенсивным методам развития;
- несбалансированность основных компонентов хозяйственного механизма: планирования, ценообразования, материально-технического снабжения, финансово-кредитных отношений.

Объективное и субъективное восприятие риска.

Риск имеет два измерения: объективное и субъективное. Объективное измерение выражено количественно и выявляется с помощью ряда алгоритмических методик. Объективное понимание риска подразумевает наличие неопределенной возможности неблагоприятного исхода, не зависящей от воли и сознания лица, подверженного риску. Иными словами, неопределенность является объективной характеристикой соответствующей ситуации.

Реакция людей на такие ситуации и их субъективное отношение к неопределенности являются следствием проявления риска, а не его компонентом. Подобная точка зрения вовсе не означает, что лицо, подверженное риску, не может влиять на его проявление. Однако это влияние возможно лишь за счет воздействия на окружающую среду как источник риска и не связано с изменением точки зрения на риск.

Субъективное измерение не может быть сведено к числам, но на практике оно часто перевешивает объективные подходы. Субъективное понимание риска должно предполагать наличие нашего отношения или нашей оценки имеющейся неопределенности. Иными словами, источник неопределенности лежит не в самой ситуации, а в субъективном отношении к ней. В частности, субъективные вероятности реализации неопределенной возможности неблагоприятного исхода не имеют прямого отношения к действительным шансам его реализации, а выражают то, что лицо, принимающее решения, думает о такой возможности. Таким образом, в данном контексте риск представляет собой оценку ситуации с точки зрения восприятия потенциальной осуществимости отрицательных последствий. Отсюда следует, что риск, понимаемый субъективно, связан с поведением и мышлением лица, принимающего решения, т.е. является характеристикой этого лица, а не окружающей среды [5, 9, 11].

Профессионалы обычно оценивают риски как объективные, но большинство людей рассматривают их как сугубо субъективные. Это различие объясняет результаты исследований, в которых экспертов и информированных неспециалистов (образованные и политически активные женщины, студенты колледжа и эксперты) просили проранжировать риски, связанные с технологиями в широком смысле.

Это различие в восприятии возникает в связи с тем, что люди объединяют ряд субъективных факторов со своим определением риска, в особенности:

– степень, в которой риск оказывается контролируемым рискующими (студенты колледжей, которые много ездят на велосипедах и таким образом

чувствуют, что они управляют ситуацией, ранжируют этот риск гораздо ниже, чем эксперты);

- ситуации, когда риска боятся (оценка риска раковых заболеваний возникает частично из-за страшной природы болезни);

- степень, в которой риск возлагается, а не принимается добровольно (женщины ранжируют риск от применения контрацепции ниже, чем эксперты, что, возможно, связано как с добровольным принятием риска, так и со знакомством с контрацептивами и представлением о возможностях, связанных с риском их использования);

- степень, до которой риск легко наблюдать, в особенности населения, подверженного риску, и, если возможно, управлять им с использованием современных технологий;

- то, насколько жертвы симпатичны и уязвимы (в особенности дети);

- степень, в которой риск непривычен и количественно не определим или ранее неизвестен;

- степень и тип внимания СМИ;

- наблюдаемая равномерность распределения риска среди различных групп: общественность будет более озабочена, если издержки, затраты и риски неравномерно распределены между группами, чем эксперт в области оценки риска, которого интересуют главным образом кумулятивный рост и падение абсолютного риска.

Классификация рисков.

Существует ряд признаков, позволяющих провести классификацию природных, социальных, финансовых, предпринимательских и прочих рисков. Вместе с тем единая классификация рисков отсутствует, что связано с их многообразием и невозможностью отнесения к различным сферам хозяйственной деятельности. Наряду с рисками, присущими большинству видов производства, существуют риски, характерные только для определенной сферы деятельности.

На основании литературных данных можно предложить следующую

классификацию рисков:

- по источникам риска – техногенный риск, источником которого является хозяйственная деятельность человека, и природный риск, связанный с воздействием природных явлений (землетрясения, наводнения, ураганы и т.д.);

- по виду источника риска для объекта воздействия – внешний риск (риск, не связанный с деятельностью объекта), внутренний риск (зависящий от функционирования объекта) и риск, связанный с человеческим фактором (зависящий от ошибок конкретных лиц, персонала);

- по уровню воздействия – локальный и глобальный;

- по масштабу воздействия – индивидуальный и коллективный;

- по времени воздействия – краткосрочный риск (опасное воздействие не превышает по времени одного часа), среднесрочный и долгосрочный (последствия сказываются на протяжении долгого времени);

- по частоте воздействия – постоянный риск (риск воздействия существует постоянно), периодический (риск, возникающий время от времени) и разовый (риск, появляющийся при возникновении нестандартной ситуации);

- по восприятию людьми – добровольный риск (для персонала, работающего на опасном производственном объекте) и принудительный (для населения, живущего вблизи опасного производственного объекта);

- по целесообразности – обоснованный риск и необоснованный (безрассудный);

- по отношению к сферам человеческой деятельности – коммерческий, социально-бытовой, политический, технологический риски и риск в природопользовании;

- по характеру наносимого ущерба – экономический, экологический и социальный риски;

- по степени допустимости – пренебрежимый, приемлемый, предельно допустимый, чрезмерный.

Пренебрежимый риск имеет настолько малый уровень, что находится в пределах допустимых отклонений естественного (фонового) уровня.

Приемлемый риск допускает такой уровень риска, с которым мирятся, учитывая технико-экономические и социальные возможности общества на данном этапе развития.

Предельно допустимый риск представляет собой максимальный риск, который не должен быть превышен независимо от ожидаемой выгоды.

Чрезмерный риск характеризуется исключительно высоким его уровнем, который в подавляющем большинстве случаев приводит к негативным последствиям.

Достичь нулевого уровня риска невозможно. Пренебрежимый риск в настоящих условиях также не может быть обеспечен, так как отсутствуют технические и экономические предпосылки для этого.

Индивидуальный и коллективный риски.

Одной из наиболее часто употребляемых характеристик опасности является индивидуальный риск – вероятность (или частота) поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности при реализации неблагоприятного случайного события. В общем случае количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени. Индивидуальный риск определяется потенциальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. При этом индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и обученностью индивидуума действиям в опасной ситуации, его защищенностью.

Например, для целей радиационной безопасности при облучении в течение года индивидуальный риск  $RI$  сокращения длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов консервативно определяется следующим образом:

$$RI = P_i \{D > D\}, \quad (1.1)$$

где  $P_i\{D > D\}$  – вероятность для  $i$ -го индивидуума быть облученным дозой  $D > D$  при обращении с источником в течение года;  $D$  – пороговая доза для детерминированного эффекта (процесс, исход которого полностью определен алгоритмом, значениями входных переменных и начальным состоянием системы).

В общем случае индивидуальный риск на рассматриваемой территории от некоторой опасности или угрозы характеризуется вероятностью смерти произвольного лица из населения за интервал времени, равный одному году. Риск определяется статистическим либо вероятностным (с помощью математических моделей) методом. Так, если имеется достаточная статистика, то точечная статистическая оценка индивидуального риска (1/год) может быть получена по формуле:

$$RI = n/N, \quad (1.2)$$

где  $n$  – число смертей в год по рассматриваемой причине;  $N$  – численность населения на рассматриваемой территории в оцениваемом году.

Этот вид риска рассматривается в качестве первичного и основного понятия. Во-первых, в связи с приоритетом человеческой жизни как высшей ценности. Во-вторых, в связи с тем, что именно индивидуальный риск может быть оценен по большим выборкам с достаточной степенью достоверности, что позволяет определять другие важные категории риска (например, потенциальный территориальный) при анализе техногенных опасностей и осуществлять установление приемлемого и неприемлемого уровней риска.

Обычно индивидуальный риск измеряется вероятностью гибели в исчислении на одного человека в год. В случае если оценивается риск для какой-либо группы людей определенной профессии или специального рода деятельности, связанных с повышенной опасностью, целесообразно их риск относить к одному часу работы или одному технологическому циклу.

Аналогично могут быть определены индивидуальные риски увечий, заболеваний, потери трудоспособности и т.п. Если говорится, что индивиду-

альный риск для пассажиров гражданской авиации составляет 10–4 1/год, то в статистическом плане это означает, что следует ожидать один смертельный исход в результате несчастного случая, связанного с отказом на самолете, на 10 тыс. пассажиров в год.

При анализе риска обычно не проводится расчет индивидуального риска каждого человека, а оценивается индивидуальный риск для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Обычно речь идет об индивидуальном риске для работающих и для населения окружающих районов или для более узких групп, например для рабочих различных специальностей.

Индивидуальный риск при техногенных опасностях в основном определяется потенциальным территориальным риском (пространственным распределением частоты реализации негативного воздействия определенного уровня) и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов.

Данная мера риска не зависит от факта нахождения объекта воздействия (человека) в данном месте пространства. Предполагается, что вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (например, человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с определением, выражает собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. На практике важно знать распределение потенциального риска для отдельных источников опасности и для отдельных сценариев аварий. Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска. Распределения потенциального риска и населения в исследуемом районе позволяют получить количественную оцен-

ку социального риска для населения. Для этого нужно определить число пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности и затем определить зависимость частоты событий ( $F$ ), в которых пострадало на том или ином уровне число людей больше определенного ( $N$ ), от этого определенного числа людей (социальный риск).

Главенство в первой категории принадлежит несчастным случаям в быту (если исключить болезни), во второй – работе на морских платформах при разработке месторождений континентального шельфа, в третьей – занятию альпинизмом.

В любом регионе, независимо от наличия или отсутствия каких-либо техногенных объектов, всегда существует некоторая вероятность того, что человек погибнет в результате несчастного случая, преступления или иного «неестественного события».

Очевидно, что вероятность смерти возрастает, если в районе проживания человека имеют место некоторые (фоновые) факторы, тем или иным путем негативно воздействующие на здоровье человека. Поэтому индивидуальный среднестатистический риск от техногенной деятельности сравнивается именно с этой категорией риска.

На основании того, что индивидуальный риск характеризуется одним числовым значением и является универсальной характеристикой опасности для человека, на практике имеют место многочисленные попытки нормирования уровня приемлемого индивидуального риска. Однако опыты анализов риска различных производств показывают, что оценки индивидуального риска имеют существенный разброс, что связано с неопределенностью исходных данных (место расположения, профессия, состояние обученности и защищенности и т.д.).

Поэтому уровень приемлемого индивидуального риска нормативно или законодательно закреплен лишь в некоторых странах (например, в Голландии –  $10^{-6}$  1/год; в России, согласно некоторым нормативным документам, – от  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$  1/год).

Количественной интегральной мерой опасности является коллективный риск, определяющий масштаб ожидаемых последствий для людей от потенциальных аварий или других негативных воздействий:

$$RN = RI \cdot N, \quad (1.3)$$

где  $N$  – общее число людей, подвергающихся потенциальному негативному воздействию.

Фактически коллективный риск определяет ожидаемое число смертельных исходов в результате аварий на рассматриваемой территории за определенный период времени. Наиболее удобно пользоваться этим понятием для сравнения различных территорий хозяйственной деятельности, однако для разработки мер безопасности применение коллективного риска неэффективно, так как основной ущерб от несчастных случаев как результатов неблагоприятных событий зачастую не рассматривается.

Индивидуальный и коллективный риски могут быть переведены в сферу экономических и финансовых категорий, если установить стоимость человеческой жизни и использовать математическое определение риска ( $R = P \cdot U$ ). Такой подход широко обсуждается, вызывая возражения определенного круга ученых, которые считают, что человеческая жизнь бесценна и все финансовые дискуссии на этой почве недопустимы. Однако на практике неизбежно возникает необходимость стоимостной оценки человеческой жизни именно с целью обеспечения безопасности людей. В большинстве промышленно развитых стран этот вопрос решается путем страхования индивидуальных рисков, в том числе смертельных.

Исходя из того, что при использовании понятий «индивидуальный риск» и «коллективный риск» возникают значительные неопределенности, в настоящее время на практике стали применять другие категории риска (территориальный и социальный) как меры опасности, характеризующие риск не единственным числовым значением, а наборами чисел или функциональ-

ми зависимостями.

Потенциальный территориальный и социальный риски.

Комплексной мерой риска, характеризующей опасный объект (территорию), является потенциальный территориальный риск – пространственное распределение вероятности (или частоты) реализации негативного воздействия определенного уровня. Например, при моделировании опасных техногенных процессов по схеме «авария – механизм воздействия – реализация воздействия» для оценки риска, связанного с выбросами вредных веществ.

Потенциальный территориальный риск, в соответствии с названием, представляет собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. Данная мера риска не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что вероятность нахождения объекта воздействия равна 1. Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте, и может меняться в широком интервале. На практике важно знать распределение потенциального риска для отдельных источников опасности и для отдельных сценариев аварий. При этом часто полагают вероятность иницирующего события также равной 1, т.е.  $P(A) = 1$ . Таким образом, потенциальный территориальный риск принимает характер территориального условного индивидуального риска и равен вероятности (или частоте) негативного исхода в результате реализации механизма воздействия в точке с координатами рассматриваемой территории.

Социальный риск характеризует масштаб возможных аварий и определяется функцией, у которой есть установившееся название – F–N кривая. В зависимости от задач анализа под N можно понимать общее число пострадавших, число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий. Знание распределения потенциального риска и распределения населения в исследуемом районе позволяет получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно определить число

пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности, затем определить зависимость частоты событий ( $F$ ), в которых пострадало на том или ином уровне число людей больше определенного ( $N$ ), от этого определенного числа людей.

Соответственно, критерий приемлемой степени риска будет определяться для отдельного события уже не числом, а кривой, построенной для различных сценариев аварии.

В настоящее время общераспространенным подходом к определению приемлемости риска является использование двух кривых, когда в логарифмических координатах определены  $F$ – $N$ -кривые приемлемого и неприемлемого социального риска смертельного травмирования, а область между этими кривыми определяет промежуточную степень риска, вопрос о снижении которой следует решать, исходя из специфики производства и местных условий, путем согласования с органами надзора и местного самоуправления.

Аналогично в качестве переменной  $N$  можно принять материальный и/или экологический ущерб, для которых могут быть построены свои  $F$ – $N$ -кривые, служащие мерой страхового или экологического риска соответственно.

### Приемлемый риск

В настоящее время при оценке степени опасности исходят из понятия приемлемого риска. Величину приемлемого риска можно определить, используя затратный механизм, который позволяет распределять расходы общества на достижение заданного уровня безопасности между природной, техногенной и социальной сферами.

Необходимо поддержание сбалансированных затрат в указанные сферы, поскольку нарушение соотношения в пользу одной из сфер резко увеличивает риск, и его уровень выйдет за границу приемлемого. Так, сокращение расходов на охрану окружающей среды в пользу техногенной и социальной сфер вызовет деградацию природы и снижение качества жизни человека в результате загрязнения атмосферы, воды, почвы.

Предельные значения степени риска имеют временные значения и с течением времени должны пересматриваться в сторону их снижения. Это определяется корректировкой методик по определению степени риска или их коренной переработкой.

В ряде стран пороговые значения степени риска определены и законодательно установлены. Так, в Нидерландах принято считать в качестве максимально приемлемого риска вероятность гибели человека в течение года  $10^{-6}$ , а пренебрежительно малым риском – аналогичную вероятность, равную  $10^{-8}$ .

В Великобритании в качестве максимально приемлемого риска используется величина  $6 \cdot 10^{-6}$ . В этой же стране установлены для строительства в районе потенциально опасных объектов три зоны с разной степенью опасности и даются рекомендации, в какой зоне разрешается возводить сооружения разных типов. В литературе за максимально допустимую величину риска принята вероятность гибели человека  $5 \cdot 10^{-6}$  в год.

Таким образом, общепринятых значений уровня риска в мире пока нет. Разброс в пороговых значениях степени риска объясняется различным отношением к риску, уровнем развития промышленной безопасности в стране, а также различиями в методологии анализа риска.

Отечественные исследователи считают, что естественными границами риска для человека является диапазон между  $10^{-2}$  (вероятность заболеваемости на душу населения) и  $10^{-6}$  (нижний уровень риска от природной катастрофы или другой серьезной опасности), техногенный риск считается приемлемым, если он меньше  $10^{-6}$ .

Исходя из анализа зарубежного опыта и состояния системы безопасности в нашей стране, предлагаются следующие уровни риска:

- более  $10^{-4}$  – зона недопустимого риска;
- менее  $10^{-4}$  и более  $10^{-6}$  – зона жесткого контроля риска;
- менее  $10^{-6}$  – зона приемлемого риска.

Предложенные нормы, устанавливающие предельные значения степени

риска поражения людей, следует сопроводить требованиями (указаниями) о необходимости проведения мероприятий по снижению степени риска поражения людей при превышении степени риска предельных значений. При этом, если степень риска превышает максимальный приемлемый уровень, следует принимать срочные меры по снижению степени риска. При степени риска, находящемся между максимальным приемлемым и пренебрежимо малым уровнем, необходимо проводить плановые мероприятия по снижению степени риска на основе компромисса между социальной выгодой и экономическими возможностями.

### Виды рисков

Процесс хозяйственной деятельности сопровождается совокупностью различных видов риска, которые отличаются между собой по месту и времени возникновения, совокупности внешних и внутренних факторов, влияющих на их уровень и, следовательно, по способу их анализа и методам описания.

### Предпринимательский риск

Предпринимательский риск – это риск, возникающий при любых видах предпринимательской деятельности, связанных с производством продукции, товаров и услуг, их реализацией; товарно-денежными и финансовыми операциями; коммерцией, а также осуществлением научно-технических проектов.

Предпринимательский риск имеет объективную основу из-за неопределенности внешней среды по отношению к предпринимательской фирме. Внешняя среда включает в себя объективные экономические, социальные и политические условия, в рамках которых фирма осуществляет свою деятельность и к динамике которых она вынуждена приспосабливаться. Неопределенность ситуации предопределяется тем, что она зависит от множества переменных, контрагентов и лиц, поведение которых не всегда можно предсказать с приемлемой точностью. Сказывается также и отсутствие четкости в определении целей, критериев и показателей их оценки (сдвиги в общественных потребностях и потребительском спросе, появление технических и тех-

нологических новшеств, изменение конъюнктуры рынка, непредсказуемые природные явления).

Устранить неопределенность будущего в предпринимательской деятельности невозможно, так как она является элементом объективной действительности. Риск присущ предпринимательству и является неотъемлемой частью его экономической жизни. Риск связан с реальными процессами в экономике. Объективность риска связана с наличием факторов, существование которых в конечном счете не зависит от действия предпринимателей.

Сложность классификации предпринимательских рисков заключается в их многообразии. С риском предпринимательские фирмы сталкиваются всегда при решении как текущих, так и долгосрочных задач. Существуют определенные виды рисков, действию которых подвержены все без исключения предпринимательские организации, но наряду с общими есть специфические виды риска, характерные для определенных видов деятельности: так, банковские риски отличаются от рисков в страховой деятельности, а последние, в свою очередь, от рисков в производственном предпринимательстве.

С риском предприниматель сталкивается на разных этапах своей деятельности, и, естественно, причин возникновения конкретной рискованной ситуации может быть очень много. Обычно под причиной возникновения подразумевается какое-либо условие, вызывающее неопределенность исхода ситуации. Для риска такими источниками являются: непосредственно хозяйственная деятельность, деятельность самого предпринимателя, недостаток информации о состоянии внешней среды, оказывающей влияние на результат предпринимательской деятельности. Исходя из этого следует различать следующие предпринимательские риски:

- риск, связанный с хозяйственной деятельностью;
- риск, связанный с личностью предпринимателя;
- риск, связанный с недостатком информации о состоянии внешней среды.

В связи с тем что вероятность возникновения последнего риска обратно

пропорциональна тому, насколько предпринимательская фирма информирована о состоянии внешней среды по отношению к своей фирме, он наиболее важен в современных условиях хозяйствования. Недостаточность информации о партнерах (покупателях или поставщиках), особенно их деловом имидже и финансовом состоянии, грозит предпринимателю возникновением риска. Недостаток информации о налогообложении в России или в стране зарубежного партнера – это источник потерь в результате взыскания штрафных санкций с предпринимательской фирмы со стороны государственных органов. Недостаток информации о конкурентах также может стать источником потерь для предпринимателя.

Риск, связанный с личностью предпринимателя, определяется тем, что все предприниматели обладают различными знаниями в области предпринимательства, различными навыками и опытом ведения предпринимательской деятельности, различными требованиями к уровню рискованности отдельных сделок.

По сфере возникновения предпринимательские риски можно подразделить на внешние и внутренние. Источником возникновения внешних рисков является внешняя среда по отношению к предпринимательской фирме. Предприниматель не может оказывать на внешние риски влияние, он может только предвидеть и учитывать их в своей деятельности.

Таким образом, к внешним относятся риски, непосредственно не связанные с деятельностью предпринимателя. Речь идет о непредвиденных изменениях законодательства, регулирующего предпринимательскую деятельность, неустойчивости политического режима в стране, а соответственно, и о потерях предпринимателей, возникающих в результате начавшейся войны, национализации, забастовок, введения эмбарго.

Источником внутренних рисков является сама предпринимательская фирма. Эти риски возникают в случае неэффективного менеджмента, ошибочной маркетинговой политики, а также в результате внутрифирменных злоупотреблений.

Основными среди внутренних рисков являются кадровые риски, связанные с профессиональным уровнем и чертами характера сотрудников предпринимательской фирмы.

С точки зрения длительности во времени предпринимательские риски можно разделить на кратковременные и постоянные. К группе кратковременных относятся те риски, которые угрожают предпринимателю в течение конечного известного отрезка времени, например: транспортный риск, когда убытки могут возникнуть во время перевозки груза, или риск неплатежа по конкретной сделке.

К постоянным рискам относятся те, которые непрерывно угрожают предпринимательской деятельности в данном географическом районе или в определенной отрасли экономики, например: риск неплатежа в стране с несовершенной правовой системой или риск разрушений зданий в районе с повышенной сейсмической опасностью.

По степени правомерности предпринимательского риска могут быть выделены: оправданный (правомерный) и неоправданный (неправомерный) риски. Возможно, это наиболее важный для предпринимательского риска элемент классификации, имеющий наибольшее практическое значение. Для разграничения оправданного и неоправданного предпринимательского риска необходимо учесть в первую очередь то обстоятельство, что граница между ними в разных видах предпринимательской деятельности, в разных секторах экономики различна.

Все предпринимательские риски можно также разделить на две большие группы в соответствии с возможностью страхования: страхуемые и не страхуемые. Предприниматель может частично переложить риск на другие субъекты экономики, в частности обезопасить себя, осуществив определенные затраты в виде страховых взносов. Таким образом, некоторые виды риска, такие как риск гибели имущества, риск возникновения пожара, аварий и др., предприниматель может застраховать.

Следует выделить еще две большие группы рисков: статистические

(простые) и динамические (спекулятивные). Особенность статистических рисков заключается в том, что они практически всегда несут в себе потери для предпринимательской деятельности. При этом потери для предпринимательской фирмы, как правило, означают и потери для общества в целом.

В соответствии с причиной потерь статистические риски могут далее подразделяться на следующие группы:

- вероятные потери в результате негативного действия на активы фирмы стихийных бедствий (огня, воды, землетрясений, ураганов и т.п.);

- вероятные потери в результате преступных действий;

- вероятные потери вследствие принятия неблагоприятного законодательства для предпринимательской фирмы (потери связаны с прямым изъятием собственности либо с невозможностью взыскать возмещение с виновника из-за несовершенства законодательства);

- вероятные потери в результате угрозы собственности третьих лиц, что приводит к вынужденному прекращению деятельности основного поставщика или потребителя;

- потери вследствие смерти или недееспособности ключевых работников фирмы либо основного собственника предпринимательской фирмы (что связано с трудностью подбора квалифицированных кадров, а также с проблемами передачи прав собственности).

В отличие от статистического риска динамический риск несет в себе либо потери, либо прибыль для предпринимательской фирмы. Поэтому их можно назвать «спекулятивными». Кроме того, динамические риски, ведущие к убыткам отдельной фирмы, могут одновременно принести выигрыш для общества в целом. Поэтому динамические риски являются трудными для управления.

**Коммерческий риск**

Коммерческий риск – это риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, произведенных или купленных предпринимателем.

Коммерческие риски возникают из-за следующих основных причин:

- снижение объемов реализации в результате падения спроса или потребности на товар, реализуемый предпринимательской фирмой, вытеснение его конкурирующими товарами, введение ограничений на продажу;

- повышение закупочной цены товара в процессе осуществления предпринимательского проекта;

- непредвиденное снижение объемов закупок в сравнении с намеченными, что уменьшает масштаб всей операции и увеличивает расходы на единицу объема реализуемого товара (за счет условно постоянных расходов);

- потери товара;

- потери качества товара в процессе обращения (транспортировки, хранения), что приводит к снижению его цены;

- повышение издержек обращения в сравнении с намеченными в результате выплаты штрафов, непредвиденных пошлин и отчислений, что приводит к снижению прибыли предпринимательской фирмы. Коммерческий риск включает в себя:

- риск, связанный с реализацией товара (услуг) на рынке;

- риск, связанный с транспортировкой товара (транспортный);

- риск, связанный с приемкой товара (услуг) покупателем;

- риск, связанный с платежеспособностью покупателя;

- риск форс-мажорных обстоятельств.

Экономический риск

Экономический риск относится к будущим контрактным сделкам. Экономический риск имеет долгосрочный характер, связан с перспективным развитием компании и более легко прогнозируемый.

Если компания регулярно покупает или продает товары за рубеж, она постоянно сталкивается с риском сокращения выручки или роста расходов, связанных с неблагоприятными изменениями курсов валют. Такой долгосрочный риск и называется экономическим.

В международной торговле возникает угроза убытков для любой компании, которая несет расходы в одной валюте, а доходы получает в другой.

Любые изменения курсов валют могут повлечь ухудшение или улучшение финансового и рыночного положения компании.

Экономические риски возникают, если компания планирует в перспективе заключить отдельные контракты или проводить операции. Экономические риски являются долгосрочными и потенциально наиболее опасными проявлениями рисков, связанных с иностранными валютами. Экономический риск может иметь самые пагубные последствия для стратегии развития крупных компаний.

Существует два главных последствия экономического риска для компании в случае неблагоприятного изменения обменного курса:

- уменьшение прибыли по будущим операциям (такой экономический риск называется прямым);
- потеря определенной части ценовой конкурентоспособности в сравнении с иностранными производителями (такой экономический риск называется косвенным).

Источником прямого экономического риска являются операции, которые будут проведены в будущем. После заключения сделки прямой экономический риск трансформируется в операционный. Примером возникновения угрозы убытков может служить предложение контракта, оцененного в иностранной валюте, или представление прайс-листа в иностранной валюте. Любая компания, покупающая или продающая товар за границей, подвергается прямому экономическому риску.

К косвенному экономическому риску относится изменение затратной и ценовой конкурентоспособности, вызванное движением курсов валют.

Косвенным экономическим риском называется риск убытков, связанных с ухудшением конкурентоспособности данной компании в сравнении с иностранными (а может даже и внутренними) конкурентами, вызванном, вследствие движения курсов валют, относительно высокими затратами или относительно низкими ценами.

Производственный риск

Производственный риск связан с производством продукции, товаров и услуг; с осуществлением любых видов производственной деятельности, в процессе которой предприниматели сталкиваются с проблемами неадекватного использования сырья, роста себестоимости, увеличения потерь рабочего времени, использования новых методов производства.

Производственный риск возникает из-за основных причин, к которым относятся:

- снижение намеченных объемов производства и реализации продукции вследствие снижения производительности труда, простоя оборудования, потерь рабочего времени, отсутствия необходимого количества исходных материалов, повышенного процента брака производимой продукции;

- снижение цен, по которым планировалось реализовывать продукцию или услугу в связи с ее недостаточным качеством, неблагоприятным изменением рыночной конъюнктуры, падением спроса;

- увеличение расхода материальных затрат в результате перерасхода материалов, сырья, топлива, энергии, а также за счет увеличения транспортных расходов, торговых издержек, накладных и других побочных расходов;

- рост фонда оплаты труда за счет превышения намеченной численности либо за счет выплат более высокого, чем запланировано, уровня заработной платы отдельным сотрудникам;

- увеличение налоговых платежей и других отчислений в результате изменения ставки налогов в неблагоприятную для предпринимательской фирмы сторону и их отчислений в процессе деятельности;

- низкая дисциплина поставок, перебои с топливом и электроэнергией;
- физический и моральный износ оборудования отечественных предприятий.

#### Политический риск

Политический риск – это возможность возникновения убытков или сокращения размеров прибыли, являющихся следствием государственной политики. Таким образом, политический риск связан с возможными изменени-

ями в курсе правительства, переменами в приоритетных направлениях его деятельности. Учет политических рисков особенно важен в странах с неустоявшимся законодательством, отсутствием традиций и культуры предпринимательства.

Политический риск с неизбежностью присущ предпринимательской деятельности, от него нельзя уйти, можно лишь верно оценить и учесть.

Следует отметить, что попытки учитывать политические риски, вызываемые действиями отдельных государственных деятелей или правительств, предпринимались еще в XIX веке. Так, известный банкир Ротшильд таким образом организовал систему информации о политических событиях, что получал сообщения о них на несколько дней раньше, чем правительство.

Понятие «политический риск» появилось в лексиконе американских корпораций в 1959 году после прихода к власти на Кубе Ф. Кастро. Одна из первых работ по этой проблеме – книга Ф. Рута «Бизнес США за рубежом и политический риск», где был проанализирован политический риск, которому подвергается деятельность американских компаний в других странах.

О важности учета влияния политического риска на результаты деятельности предпринимательской фирмы говорит то, что для анализа и оценки политического риска создана мировая сеть специализированных аналитических центров как коммерческого, так и некоммерческого характера. В развитых странах насчитывается свыше 500 подобных центров, основная часть которых находится в США. Наиболее известными некоммерческими центрами, изучающими политический риск в основном в теоретическом плане, являются Центр стратегических и международных исследований в Джорджтаунском университете, Исследовательский центр международных изменений при Колумбийском университете (Нью-Йорк).

Политические риски можно подразделить на четыре группы:

- риск национализации и экспроприации без адекватной компенсации;
- риск трансферта, связанный с возможными ограничениями на конвертирование местной валюты;

– риск разрыва контракта из-за действий властей страны, в которой находится компания-контрагент;

– риск военных действий и гражданских беспорядков.

Риск национализации на практике толкуется предпринимателями очень широко – от экспроприации до принудительного выкупа властями имущества компании или просто ограничения доступа инвесторов к управлению активами. При определении риска национализации сложность состоит в том, что в любой стране власти никогда не рекламируют возможность экспроприации или национализации. Как следствие, ни в одном документе юридически точно не определяется, чем, например, отличается национализация от конфискации.

Риск трансферта связан с переводами местной валюты в иностранную. Примером может служить ситуация, когда предприятие работает рентабельно, получая прибыль в национальной валюте, но не в состоянии перевести ее в валюту инвестора, чтобы рассчитаться за кредит. Причин может быть множество, например принудительно длинная очередь на конвертацию. Риск разрыва контракта предусматривает ситуации, когда не помогают ни предусмотренные в договоре штрафные санкции, ни арбитраж: контракт разрывается по не зависящим от партнера причинам, например в связи с изменением национального законодательства.

Последний из группы политических рисков – это риск военных действий и гражданских беспорядков, в результате которых предпринимательские фирмы могут понести большие потери и даже обанкротиться.

Политический риск условно можно также подразделить на страновой, региональный, международный. Под страновым политическим риском следует понимать нестабильность внутривнутриполитической обстановки страны, оказывающей влияние на результаты деятельности предпринимательских фирм, в связи с чем возрастает риск ухудшения финансового состояния фирм, вплоть до их банкротства. Особенно это сказывается на предприятиях различных форм малого бизнеса, поскольку напряженность политической ситу-

ации в стране приводит к нарушению хозяйственных связей, что наиболее ощутимо отражается на деятельности небольших предприятий, ставит их на грань банкротства вследствие необеспеченности сырьем, материалами, оборудованием.

Под региональным политическим риском следует понимать нестабильность политической обстановки в определенном регионе, которая влияет на результаты деятельности предпринимательских фирм; в частности, это может быть вероятность потерь из-за военных действий в данном регионе, а также вмешательства в предпринимательскую деятельность региональных органов управления.

Учет международного политического риска важен для предпринимательской деятельности как для фирм, имеющих выход на международный рынок, так и для фирм, имеющих зарубежных партнеров.

Поскольку на политические риски предприниматель не может оказывать непосредственного влияния, так как их возникновение не зависит от результатов его деятельности, политический риск следует относить к группе внешних рисков.

#### Технический риск

Технический риск определяется степенью организации производства, проведением превентивных мероприятий (регулярной профилактики оборудования, мер безопасности), возможностью проведения ремонта оборудования собственными силами предпринимательской фирмы.

К техническим рискам можно отнести:

- вероятность потерь вследствие отрицательных результатов научно-исследовательских работ;
- вероятность потерь в результате не достижения запланированных технических параметров в ходе конструкторских и технологических разработок;
- вероятность потерь в результате низких технологических возможностей производства, что не позволяет освоить результаты новых разработок;

– вероятность потерь в результате возникновения при использовании новых технологий и продуктов побочных или отсроченных во времени проявления проблем;

– вероятность потерь в результате сбоев и поломки оборудования и т.д.

Следует отметить, что технический риск относится к группе внутренних рисков, поскольку предприниматель может оказывать на данные риски непосредственное влияние и возникновение их, как правило, зависит от деятельности самого предпринимателя.

#### Экологический риск

В последние годы в России приоритеты в природоохранной политике, основанные на учете предельно допустимых концентраций и других норм и нормативных воздействий на окружающую природную среду, пересматриваются. Причина этого заложена в невысокой эффективности нормативного подхода из-за возможности субъективного подхода к «норме» и манипулирования этим понятием. В связи с этим в основу государственной экологической политики в условиях прогрессирующего загрязнения постепенно закладывается концепция экологического риска.

Существует ряд определений понятия «экологический риск». Экологический риск – это оценка на всех уровнях – от точечного до глобального – вероятности появления негативных изменений в окружающей природной среде, вызванных антропогенным или иным воздействием. Под экологическим риском понимают также вероятностную меру опасности причинения вреда природной среде в виде возможных потерь за определенное время.

В нормативной литературе экологический риск рассматривается как вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций, разрушения экосистем или гибели отдельных популяций и видов под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Большинство исследователей определяют экологический риск как вероятность возникновения в природной среде таких нарушений, которые при

антропогенном вмешательстве могут быть неблагоприятными для дальнейшего функционирования и существования экологических систем, иначе экологический риск – совокупность условий, угрожающих как здоровью и жизни людей, так и состоянию среды обитания.

Применительно к страхованию понятие риска рассматривается как гипотетическая возможность возникновения ущерба. В случае наступления какого-либо нежелательного события ущерб будет иметь определенную величину, и затем уже определяется вероятность причинения этого ущерба.

В рамках «Методологии оценки риска» риск рассматривается как вероятность развития неблагоприятных для здоровья населения последствий техногенного загрязнения окружающей среды (среды обитания, среды производственной) либо наличия в ней природных компонентов, обладающих вредным воздействием на организм.

В общем случае экологический риск – это возможность возникновения неблагоприятных экологических последствий, вызванных опасными природными или антропогенными, в том числе техногенными факторами – факторами риска.

Наиболее объективной оценкой уровня экологической безопасности антропогенной деятельности, объединяющей различные аспекты – технический, экономический, экологический и социальный, является оценка суммарного риска. Под этим термином понимается вероятность возникновения неблагоприятных природно-техногенных процессов, сопровождающихся, как правило, существенными экологическими последствиями. При этом уровень экологического риска возрастает из-за недостаточной изученности функционирования новой природно-технической системы и возможности предвидеть весь комплекс неблагоприятных процессов их развития, а также из-за недостаточной информации о свойствах и показателях отдельных компонентов природной среды, необходимых для построения оперативных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов развития каждого из природно-техногенных процессов на основе моделей различного типа – детерминированных, веро-

ятностных и других. Существенно возрастает уровень экологического риска из-за того, что практически невозможно оценить обобщенную реакцию природной среды от суммарного воздействия отдельных видов антропогенной деятельности, носящей всеобъемлющий характер и способной привести к катастрофическим последствиям.

Вред природной среде при различных антропогенных воздействиях очевидно неизбежен, однако он должен быть сведен до минимума и быть экономически оправданным. Любые хозяйственные или иные решения должны приниматься с таким расчетом, чтобы не превышать пределы вредного воздействия на природную среду. Установить эти пределы очень трудно, поскольку пороги воздействия многих антропогенных и природных факторов неизвестны. Поэтому расчеты экологического риска должны быть вероятностными и многовариантными, с выделением риска для здоровья человека и природной среды.

Оценке допустимого экологического риска в последнее время уделяется все больше внимания, особенно при принятии решений о вложении инвестиций в то или иное производство. При этом при антропогенном воздействии учитываются следующие правила допустимого экологического риска:

- 1) неизбежность потерь в окружающей природной среде;
- 2) минимальность потерь в окружающей природной среде;
- 3) реальная возможность восстановления потерь в окружающей природной среде;
- 4) отсутствие вреда здоровью человека и необратимость изменений в окружающей природной среде;
- 5) соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Различают три главные составляющие экологического риска:

- оценка состояния здоровья человека и возможного числа пострадавших;
- оценка состояния биоты по биологическим интегральным показателям;
- оценка воздействия загрязняющих веществ на человека и окружающую природную среду.

Экологический риск характеризуется двойственным проявлением. С одной стороны, он обусловлен вероятностью негативных проявлений сил природы в процессе производственной деятельности. С другой стороны, экологический риск выражается в вероятности воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Реализация экологического риска приводит к ущербу для природы и общества.

В большинстве случаев экологический риск связан с поступлением в окружающую среду веществ и энергии, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на природные ресурсы.

Особенностью большинства экологических рисков является их долговременный характер, т.е. они могут проявиться спустя много лет после совершения рискованного события и чреваты катастрофическими потерями.

Другая особенность экологических рисков заключается в присущей им неопределенности, так как в перспективе может трансформироваться оценка риска. Это происходит из-за того, что меняются научные воззрения на степень опасности тех или иных видов загрязнений.

С течением времени некоторые виды экологических рисков связываются с большей ответственностью за них, становятся более дорогими и трудно поддаются оценке. Ущерб, который может повлечь за собой реализацию экологических рисков, определяется, как правило, стоимостью проведения восстановительных работ или потенциальными потерями общества вследствие повреждения природных ресурсов.

## 1.2 Методологические основы управления рисками

В основе оценки опасности любого события лежит понятие «риск». Определение понятия риска в любой деятельности является весьма сложным и обусловлено его комплексностью и наличием многих аспектов.

Согласно ГОСТ Р 51897–2002 «Менеджмент риска. Термины и определения» риск – сочетание вероятности события и его последствий. Основной

смысл, который часто закладывается в это понятие, заключается в том, что «риск» – это угроза возникновения опасной ситуации. Иначе, риск – это вероятность наступления опасности, неблагоприятного события с прямыми или косвенными последствиями и неопределенной величиной ущерба. При этом под ущербом понимается убыток, урон экономического, социального, экологического или смешанного характера, определяемый как условные средние потери за соответствующий период времени. Понятие ущерба в данном случае трактуется в самом широком смысле: от финансовых убытков, недополученной прибыли и ущерба имиджу до моральных издержек и потери здоровья.

Само понятие «риск», как следует из определения, включает в себя три основных элемента:

1. Неопределенность. Риск существует тогда и только тогда, когда возможно не единственное развитие событий.

2. Ущерб. Риск существует, когда как минимум один исход может привести к ущербу.

3. Значимость. Риск существует, когда предполагаемое событие имеет практическое значение и затрагивает интересы хотя бы одного субъекта.

Следует отметить, что неопределенность предполагает наличие факторов, при которых результаты действий не являются детерминированными, а степень возможного влияния этих факторов на результаты неизвестна; это неполнота или неточность информации об условиях реализации ситуации.

При этом неопределенность может проявляться по-разному:

– в виде вероятностных распределений (распределение случайной величины точно известно, но неизвестно, какое конкретно значение примет случайная величина);

– в виде субъективных вероятностей (распределение случайной величины неизвестно, но известны вероятности отдельных событий, определенные экспертным путем);

– в виде интервальной неопределенности (распределение случайной

величины неизвестно, но известно, что она может принимать любое значение в определенном интервале).

Понятие риска всегда включает два элемента: частота, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события.

В общем случае риск – это произведение вероятности возникновения неблагоприятной ситуации ( $P$ ) на ее последствия с точки зрения нанесенного ущерба ( $Y$ ):

$$R = P \cdot Y \quad (1.5)$$

или

$$R = \sum P_i Y_i \quad (1.6)$$

если могут иметь место несколько ( $i$ ) неблагоприятных событий с различными вероятностями  $P_i$  и соответствующими им ущербами  $Y_i$ .

Риск имеет математически выраженную вероятность наступления определенного события, которая опирается на статистические данные или экспертные оценки и может быть математически рассчитана.

Рассматривая риск с точки зрения его оценки, необходимо решить следующие задачи:

– описать как можно больше возможных вариантов развития событий в будущем, соответствующих данному риску (возможные исходы принятия решений или случайные события);

– определить вероятности наступления каждого из этих вариантов (случайных событий).

Случайные события. Частота. Вероятность

Случайным событием (или просто событием) называется всякое явление, которое может произойти или не произойти при осуществлении определенной совокупности условий. Теория вероятностей имеет дело с такими событиями, которые имеют массовый характер. Это значит, что данная совокупность условий может быть воспроизведена неограниченное число раз. Каждое такое осуществление данной совокупности условий называют испы-

танием (или опытом).

Если, например, испытание состоит в бросании монеты, то выпадение герба является событием; если испытание – изготовление подшипника данного типа, то соответствие подшипника стандарту – событие; если испытание – бросание игральной кости, т.е. кубика, на гранях которого проставлены цифры (очки) от 1 до 6, то выпадение пятерки – событие.

События будем обозначать заглавными буквами латинского алфавита: А, В, С и т.д. Пусть при  $n$  испытаниях событие А появилось  $m$  раз. Отношение  $m/n$  называется частотой (относительной частотой) события А и обозначается  $P^*(A) = m/n$ .

Опыт показывает, что при многократном повторении испытаний частота  $P^*(A)$  случайного события обладает устойчивостью. Поясним это на примере.

Пусть при бросании монеты 4040 раз герб выпал 2048 раз. Частота появления герба в данной серии опытов  $P^*(A) = m/n = 2048/4040 = 0,5069$ . При бросании той же монеты 12000 раз герб выпал 6019 раз. Следовательно, в этом случае частота  $P^*(A) = 6019/12000 = 0,5016$ . Наконец, при 24000 бросаний герб появился 12012 раз с частотой  $P^*(A) = 0,5005$ . Таким образом, при большом числе бросаний монеты частота появления герба обладает устойчивостью, т.е. мало отличается от числа 0,5. Как показывает опыт, это отклонение частоты от числа 0,5 уменьшается с увеличением числа испытаний. Наблюдаемое в этом примере свойство устойчивости частоты является общим свойством массовых случайных событий, а именно – всегда существует такое число, к которому приближается частота появления данного события, мало отличаясь от него при большом числе испытаний. Это число называется вероятностью события. Оно выражает объективную возможность появления события. Чем больше вероятность события, тем более возможным оказывается его появление. Вероятность события А будем обозначать через  $P(A)$ . В рассмотренном выше примере вероятность появления герба, очевидно, равна 0,5.

Событие называется достоверным, если оно в данном опыте обязательно должно произойти; наоборот, событие называется невозможным, если оно в данном опыте не может произойти.

Пусть, например, из урны, содержащей только черные шары, вынимают шар. Тогда появление черного шара – достоверное событие; появление белого шара – невозможное событие.

Если событие достоверно, то оно произойдет при каждом испытании ( $m = n$ ). Поэтому частота достоверного события всегда равна единице. Наоборот, если событие невозможно, то оно ни при одном испытании не осуществится ( $m = 0$ ). Следовательно, частота невозможного события в любой серии испытаний равна нулю. Поэтому вероятность достоверного события равна единице, а вероятность невозможного события равна нулю.

Если событие  $A$  не является ни достоверным, ни невозможным, то его частота  $m/n$  при большом числе испытаний будет мало отличаться от некоторого числа  $p$  (где  $0 < p < 1$ ) – вероятности события  $A$ .

Совмещением (или произведением) двух событий  $A$  и  $B$  называется событие, состоящее в совместном наступлении как события  $A$ , так и события  $B$ . Это событие будем обозначать  $AB$  или  $BA$ .

Аналогично совмещением нескольких событий, например  $A$ ,  $B$  и  $C$ , называется событие  $D = ABC$ , состоящее в совместном наступлении событий  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Объединением (или суммой) двух событий  $A$  и  $B$  называется событие  $C$ , заключающееся в том, что произойдет по крайней мере одно из событий –  $A$  или  $B$ . Это событие обозначается так:  $C = A + B$ .

Объединением нескольких событий называется событие, состоящее в появлении по крайней мере одного из них. Запись  $D = A + B + C$  означает, что событие  $D$  есть объединение событий  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

Два события  $A$  и  $B$  называются несовместными, если наступление события  $A$  исключает наступление события  $B$ . Отсюда следует, что если события  $A$  и  $B$  несовместны, то событие  $AB$  – невозможное.

При большом числе  $n$  испытаний частота  $P^*(A) = m/n$  появления собы-

тия  $A$  обладает устойчивостью и дает приближенное значение вероятности события  $A$ , т.е.  $P(A) \approx P^*(A)$ .

Это обстоятельство позволяет находить приближенно вероятность события опытным путем. Практически такой способ нахождения вероятности события не всегда удобен. В ряде случаев вероятность события удастся определить до опыта с помощью понятия равно вероятности событий (или равно-возможности).

Два события называются равновероятными (или равновозможными), если нет никаких объективных причин считать, что одно из них может наступить чаще, чем другое.

Так, например, появления герба или надписи при бросании монеты представляют собой равновероятные события.

Рассмотрим другой пример. Пусть бросают игральную кость. В силу симметрии кубика можно считать, что появление любой из цифр 1, 2, 3, 4, 5 или 6 одинаково возможно (равновероятно).

События  $E_1, E_2, \dots, E_N$  в данном опыте образуют полную группу, если в результате опыта должно произойти хотя бы одно из них.

Так, в последнем примере полная группа событий состоит из шести событий – появлений цифр 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

Очевидно, любое событие  $A$  и противоположное ему событие  $\bar{A}$  образуют полную группу.

Событие  $B$  называется благоприятствующим событию  $A$ , если наступление события  $B$  влечет за собой наступление события  $A$ .

Так, если  $A$  – появление четного числа очков при бросании игральной кости, то появление цифры 4 представляет собой событие, благоприятствующее событию  $A$ .

Пусть события  $E_1, E_2, \dots, E_N$  в данном опыте образуют полную группу равновероятных и попарно несовместных событий. Будем называть их исходами испытания. Предположим, что событию  $A$  благоприятствуют  $M$  исходов испытания. Тогда вероятностью события  $A$  в данном опыте называют от-

ношение  $M/N$ .

Таким образом, вероятностью  $P(A)$  события в данном опыте называется отношение числа  $M$  исходов опыта, благоприятствующих событию  $A$ , к общему числу  $N$  возможных исходов опыта, образующих полную группу равновероятных попарно несовместных событий:

$$P(A) = M/N \quad (1.7)$$

Это определение вероятности часто называют классическим.

На основе вероятностей рассчитываются стандартные характеристики риска:

– математическое ожидание – это средневзвешенное всех возможных результатов, где в качестве весов используются вероятности их достижения;

– дисперсия – представляет собой средневзвешенное из квадратов отклонений случайной величины от ее математического ожидания (т.е. отклонений действительных результатов от ожидаемых). Квадратный корень из дисперсии называется стандартным отклонением и показывает степень разброса возможных результатов по проекту;

– коэффициент вариации – показывает, какую долю среднего значения случайной величины составляет ее средний разброс;

– коэффициент корреляции – показывает связь между переменными, состоящую в изменении средней величины одной из них в зависимости от изменений другой [4].

Описанные выше критерии применяются к нормальному распределению вероятностей, так как его важнейшие свойства (симметричность распределения относительно средней, ничтожная вероятность больших отклонений случайной величины от центра ее распределения) позволяют существенно упростить анализ.

Математическое определение риска

Следуя определению риска, по формуле (1.2) можно записать выраже-

ние для риска в виде интеграла:

$$R = \int F(Y)p(Y) dy \quad (1.8)$$

где  $F(Y)$  – весовая функция потерь, с помощью которой последствия различной природы приводятся к единой оценке ущерба (например, стоимостной);  $p(Y)$  – плотность распределения случайной величины  $Y$  (в общем случае векторной). В такой формулировке риск определяется как математическое ожидание ущерба или потерь.

Таким образом, один и тот же риск может быть вызван или высокой вероятностью отказа с незначительными последствиями, или ограниченной вероятностью отказа с высоким уровнем ущерба.

При анализе опасностей для населения и окружающей среды используют риск, отнесенный к единице времени, при этом за единицу времени чаще всего принимают 1 год.

Приведенные выше математические определения риска теряют элемент случайности (математическое ожидание случайно величины 0 величина не случайная, а детерминированная) и обладают всеми недостатками, характерными для точечных оценок случайных величин. Поэтому учет факторов неопределенности при таком рассмотрении риска имеет принципиальное значение.

Несмотря на отмеченную ограниченность процедуры определения риска по соотношениям (1.1) и (1.2), такая мультипликативная и аддитивная комбинация двух величин, характеризующих риск, в одну весьма продуктивна, так как позволяет упростить процедуру оценки риска, разделив ее на два этапа, имеющих во многих случаях самостоятельное значение:

- определение вероятностей (или интенсивностей) неблагоприятных исходов  $P_i$ ;

- определение ущербов  $U_i$  при соответствующих неблагоприятных исходах. Аварии, природные и техногенные катастрофы, как правило, вызыва-

ют последствия различного характера. По этой причине требуется привлечение единой меры ущерба последствий (например, стоимостной) или подходящих весовых функций, которые сводят различные последствия к единому базису. При более сложных структурах событий и ущербов приведенные выше формулы для вычисления риска могут усложняться.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятиям «опасность» и «безопасность».
2. Дайте определение понятию «риск».
3. Перечислите факторы, которые обуславливают появление рисков.
4. Приведите классификацию факторов риска.
5. Приведите классификацию рисков.
6. Дайте характеристику экологического риска.
7. Перечислите факторы субъективного восприятия риска.
8. Дайте определения и приведите формулы индивидуального, коллективного и потенциального территориального риска.
9. Охарактеризуйте понятие приемлемого риска.
10. Дайте характеристику основным элементам риска.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: анализ и оценка: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 118 с.
2. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
3. Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.А. Управление рисками (рискология). – М.: Экзамен, 2002.
4. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятности / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – №7. – С. 35–39.
5. Гражданкин А.И. Оценка техногенного риска: техническое регулирование, стандартизация, критерии приемлемости // Безопасность труда в

промышленности. – 2004. – № 7. – С. 48–49. 6. Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учеб. пособие для вузов / пер. с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 527 с.

7. Гринин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.

8. Лесных В.В. Нормирование риска: зарубежный и отечественный опыт // Общие подходы определения степени риска чрезвычайных ситуаций: тез. докл. / ФГУ ВНИИПО МЧС России. – М., 2004.

9. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №5. – С. 11–14.

10. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 г. № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – М., 2002.

11. Меньшиков В.В., Швыряев А.А. Опасные химические объекты и техногенный риск: учеб. пособие. – М.: Изд-во хим., фак. Моск. ун-та, 2003. – 254 с.

## Лекция 3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Рассматриваемые вопросы:

2.1. Понятие систем и системного анализа

2.1.1. Понятие системы

2.1.2. Классификация систем

2.1.3. Общесистемные закономерности

2.1.4. Характеристики системы

2.1.5. Понятие системного анализа

2.1.6. Методология системного анализа

2.2. Моделирование систем и процессов

2.2.1. Понятие модели и моделирования

2.2.2. Математические модели

2.2.3. Математическое моделирование

### 2.1. Понятие систем и системного анализа

#### 2.1.1. Понятие системы

Термин и понятие «система» является искусственно введенным понятием, служащим для представления достаточно сложных объектов и используемым в целях их более качественного исследования и совершенствования.

В настоящее время отсутствует единственное общепринятое определение системы:

- «Комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» (Л. Бертаванфи);
- «Множество элементов с соотношением между ними и между их атрибутами (А. Холл, Р. Фейдшин)»;
- «Совокупность элементов, организованных таким образом, что изменения, исключения или введение нового элемента закономерно отражаются на остальных элементах» (В.Н. Топоров);
- «Взаимосвязь самых различных элементов», «все состоящее из связанных друг с другом частей» (С. Бир);
- «Отображение входов и состояний объекта в выходные объекта»

(М. Месарович).

**Система** (греч. – «составленное из частей», «соединение» от «соединяю») – объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Другими словами, под системой понимается такая совокупность элементов, объединенных общими ресурсами, связями, функциональной средой и целью существования, которая обладает свойствами, отсутствующими у отдельных элементов.

*Элементы* – условно неделимые и самостоятельно функционирующие части системы.

В некоторых системах, помимо элементов, иногда выделяют их *компоненты* (подсистемы), под которыми подразумевают совокупности относительно однородных элементов, объединенных общими функцией и ресурсом. Компоненты вводятся для упрощения описания процесса функционирования человеко-машинной системы в целом, поскольку образующие ее люди, используемая техника и окружающая их среда могут считаться подсистемами более низкого уровня. Примером может служить современный компьютер, компонентами которого служит большое число практически одинаковых и параллельно работающих электронно-вычислительных машин. Основными же подсистемами и элементами последних могут считаться, например, процессор и отдельная микросхема.

Другую, чрезвычайно сложную систему представляет, например, сама техносфера, а также составляющие ее человеко-машинные системы.

Характер взаимодействия между подсистемами играет важную роль, поэтому наиболее важной характеристикой системы считается ее *структура* – множество тех связей и элементов, которые имеют наиболее важное значение при обеспечении энерго-, массо- и информационного обмена не только внутри самой системы, но и между ней и окружающей ее средой.

Другими, также важными характеристиками является *функциональная среда* системы и *состояние*, которое они занимают в каждый момент време-

ни, определяемое всей совокупностью ее существенных свойств на данный момент их проявления.

Для того чтобы выделить систему из среды необходимо соблюдать некоторые правила:

1. Определить границы системы и ее связи с внешней средой.
2. Четко сформулировать функцию системы и в соответствии с ней проверить систему на полноту элементов, целостность, единство с позиции ее функционирования и в конечном счете – достижения желаемой цели (чтобы отсутствовали лишние, дублирующие, несовместимые либо недостающие элементы или связи).
3. Построить структуру системы, учитывая при этом, что функция системы может реализоваться различными структурами.
4. Определить внутренние законы, по которым система существует и развивается. При этом система должна пониматься в развитии и движении. Должна быть установлена связь законов функционирования внутри системы с законами функционирования системного окружения (среды и надсистемы).

### 2.1.2. Классификация систем

Полной классификации систем в настоящее время нет, более того, не выработаны окончательно ее принципы. Разные авторы предлагают различные принципы классификации, а сходным по смыслу – дают разные названия.

В гомогенных системах структурные элементы однородны, т.е. обладают одинаковыми свойствами, их элементы взаимозаменяемы (жидкости, газы, популяции организмов).

Гетерогенные системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости (техносфера).

По сложности систем они могут разделяться на три группы: простые – 4.1, сложные – 4.2 и большие – 4.3. Отличными свойствами сложных и больших считаются:

- а) уникальность;
- б) многоступенчатость, иерархичность;
- в) случайный характер функционирования и реагирования на воздействие факторов;
- г) многокритериальность оценки состояния;
- д) слабая структурированность и разнородность образующих их частей.

Главным отличительным свойством большой системы служит ее размер, не позволяющий провести исследование системы без предварительной декомпозиции (расчленения на компоненты) с последующим укрупнением.

Еще один вариант классификации – классификация действующих систем, которые способны совершать операции, работы, процедуры, обеспечивать заданное выполнение технологических процессов, действуя по программам, задаваемым человеком.

1. **Технические системы** – материальные системы, которые решают задачи по составленным человеком программам; сам человек при этом не является элементом таких систем (автомобиль, холодильник, компьютер).

2. **Эргатические системы** – это система, составным элементом которой является человек-оператор (шофер за рулем автомобиля, рабочий, вытачивающий деталь на токарном станке).

3. **Технологические системы** – это совокупность операций (процессов) в достижении некоторых целей. Структура такой системы определяется набором методов, методик, рецептов, регламентов, правил и норм. Элементами формальной технологической системы будут операции (действия) или процессы (рецепт блюда, в котором указаны основные параметры приготовления – количество продуктов, температура, продолжительность, но отсутствуют требования, например, к виду кастрюли или плиты).

**Технологическая система** более гибкая, чем техническая: минимальными преобразованиями ее можно переориентировать на производство других объектов либо на получение других свойств последних (производство бумаги, изготовление автомобиля, оформление командировки, получение де-

нег в банкомате).

4. **Экономическая система** – система отношений (процессов), складывающихся в экономике.

5. **Социальная система** – совокупность мероприятий, направленных на социальное развитие жизни людей (улучшение социально-экономических и производственных условий труда, усиление его творческого характера, улучшение жизни работников, улучшение жилищных условий).

6. **Организационная система** – совокупность элементов, обеспечивающих координацию действий, правильное функционирование и развитие основных функциональных элементов объекта. Связи в такой системе основаны на информации и определяются различными нормативными документами.

7. **Система управления.** Содержит два главных элемента: управляемую подсистему (объект управления) и управляющую подсистему (осуществляющую функцию управления).

#### ***Классификация систем по сложности***

Не существует четкой границы между простыми и сложными системами, разные авторы предлагают различные классификации сложных систем. Например, признаком простой системы считают небольшой объем информации, требуемый для ее успешного управления. Системы, в которых не хватает информации для эффективного управления, считают сложными. Г.Н. Поваров оценивает сложность систем в зависимости от числа элементов, входящих в систему:

- малые системы ( $10 - 10^3$  элементов);
- сложные ( $10^4 - 10^6$ );
- ультрасложные ( $10^7 - 10^{30}$  элементов);
- суперсистемы ( $10^{30} - 10^{200}$  элементов).

Ю.И. Черняк сложной называет систему, которая строится для решения многоцелевой задачи и отражает объект с разных сторон в нескольких моделях

Ст. Вир предлагает делить системы на простые, сложные и очень сложные.

*Простые* – это наименее сложные системы. *Сложные* – это системы, отличающиеся разветвленной структурой и большим разнообразием внутренних связей. *Очень сложная* система – это сложная система, которую подробно описать нельзя.

Позднее Ст. Вир предложил относить к простым системам те, которые имеют до  $10^3$  состояний, к сложным – от  $10^3$  до  $10^6$  состояний и к очень сложным – системы, имеющие свыше миллиона состояний.

### 2.1.3. Общесистемные закономерности

*Общесистемные закономерности* – это закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития систем.

### 2.1.4. Характеристики системы

Одной из наиболее важных задач системного анализа является установление причинно-следственных связей выходов системы с ее входами и состоянием. Значения выходов системы зависят от следующих факторов:

- значений входных переменных;
- начального состояния системы;
- функции системы.

*1. Состояние системы и его оценка.* Состояние системы характеризует ее свойства в определенный момент времени. При этом можно говорить о состоянии входов, внутреннем состоянии и состоянии выходов системы.

Состояние входов системы представляется вектором значений входных параметров  $X = (x_1, \dots, x_n)$  и фактически является отражением состояния окружающей среды.

Внутреннее состояние системы представляется вектором значений ее внутренних параметров (параметров состояния)  $Z = (z_1, \dots, z_\nu)$  и зависит от состояния входов  $X$  и начального состояния  $Z_0$ :

$$Z = F_1(X, Z_0).$$

Примерами параметров состояния служат температура газа в трубе, психологическое состояние человека, степень изношенности оборудования, уровень квалификации персонала.

Внутреннее состояние практически не наблюдаемо, но может быть оценено по состоянию выходных переменных системы  $Y = (y_1 \dots y_m)$  благодаря зависимости  $Y = F_2(Z)$ .

При этом в качестве характеристик, отражающих состояние системы, могут выступать не только сами выходные значения, но и характеристики их изменения – скорость, ускорение и т.д. Таким образом, внутреннее состояние системы  $S$  в момент времени  $t$  может характеризоваться множеством значений ее выходных координат и их производных в этот момент времени.

Например, состояние финансовой системы страны можно характеризовать не только курсом национальной валюты к доллару, но и скоростью изменения этого курса, а также ускорением или замедлением этой скорости.

При этом выходные переменные могут не полностью, неоднозначно и несвоевременно отражать состояние системы в данный момент времени.

Например, повышенная температура ( $y > 37^\circ\text{C}$ ) может быть характерна для различных внутренних состояний; низкая прибыль предприятия может наблюдаться при разных состояниях организации.

*2. Процесс.* Если система способна переходить из одного состояния в другое (например,  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \dots$ ), то говорят, что она обладает поведением – в ней происходит процесс ( $P$ ), который может быть описан через функцию времени  $P = S(t)$  или множеством  $P = \{S_1 S_2 \dots\}$ .

По отношению к системе существует два вида процессов:

– внешний процесс – последовательная смена воздействий на систему (последовательная смена состояний внешней среды);

– внутренний процесс – последовательная смена состояний системы, которая наблюдается как процесс на выходе системы.

3. *Изменение системы.* В зависимости от того, изменяется ли состояние системы со временем, ее можно отнести к статическим или динамическим системам.

Статические модели отражают функцию системы – конкретное состояние реальной или проектируемой системы (например, закон Ома).

Динамические модели отражают процесс функционирования или изменения состояний системы (различия между состояниями, последовательность смены состояний и развитие событий с течением времени). Например, описание процесса изменения спроса на какой-либо товар под влиянием рекламы, изменение температуры утюга при его включении.

Отличие статических и динамических моделей заключено в учете времени: в статике его как бы не существует, а в динамике оно является основным элементом.

Для описаний функционирования системы используются динамические модели. Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детальности: от самого общего понятия динамики, движения вообще, до формальных математических моделей конкретных процессов типа уравнений движения в механике или волновых уравнений в теории поля.

4. *Функция и функционирование системы.* Свойства системы проявляются не только в значениях выходных переменных, но и в ее функциях, поэтому определение функций системы является одной из первых задач ее анализа или проектирования.

*Функция системы* – это способ (правило, алгоритм) преобразования входной информации в выходную.

Система может быть одно- или многофункциональной.

Функцию динамической системы можно представить логико-математической моделью, связывающей входные ( $X$ ) и выходные ( $Y$ ) координаты системы:  $Y = F(X)$ , где  $F$  – оператор (в частном случае некоторая формула), называемый алгоритмом функционирования, – вся совокупность ма-

тематических и логических действий, которые нужно произвести, чтобы по данным входам  $X$  найти соответствующие выходы  $Y$ .

Функционирование рассматривается как процесс реализации системой своих функций и описывает, как меняется состояние системы при изменении состояния ее входов.

5. *Состояние функции системы.* Поскольку функция системы является ее свойством, то можно говорить о состоянии системы в заданный момент времени, указывая ее функцию для этого момента времени.

Таким образом, состояние системы можно рассматривать в двух разрезах: состояние ее параметров и состояние ее функции, которая, в свою очередь, зависит от состояния структуры и параметров:

$$St = \{At, Ft\} == \{At, (St, At)\}.$$

Знание состояния функции системы позволяет прогнозировать значения ее выходных переменных для стационарных систем.

Систему считают стационарной, если ее функция практически не изменяется в течение определенного периода ее существования. Для такой системы реакция на одно и то же воздействие не зависит от момента приложения этого воздействия.

Ситуация значительно осложняется, если функция системы меняется во времени, что является свойством нестационарных систем. Систему считают нестационарной, если ее функция изменяется со временем.

6. *Режимы динамической системы.* Динамическая система может находиться в трех режимах: равновесный, переходной и периодический.

Равновесный режим – это такое состояние системы, в котором она может находиться сколь угодно долго в отсутствие внешних возмущающих воздействий или при постоянных воздействиях. Под переходным режимом понимают процесс движения динамической системы из некоторого начального состояния к какому-либо ее установившемуся режиму – равновесному

или периодическому.

Периодическим режимом называется такой режим, когда система через равные промежутки времени приходит в одни и те же состояния [5, 7, 8].

### 1.1.5. Понятие системного анализа

Под системным анализом понимают одно из направлений системного подхода к изучению больших и/или сложных систем, предполагающее мысленное расчленение сложного (целого) объекта для выявления его наиболее существенных частей – компонентов и свойств.

*Системный подход* – это направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как системы. Системный подход ориентирует исследователей на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных связей и сведение их в единую теоретическую картину.

*Системный синтез* – направление системного подхода, концентрирующее внимание на органическом соединении различных частей рассматриваемого сложного объекта в единое, целостное образование, уже обладающего качественно новыми свойствами, включая способность к самоорганизации путем усложнения и дифференциации.

#### Подходы к анализу и проектированию систем

При анализе и проектировании действующих систем нас могут интересовать различные аспекты: от внутреннего устройства системы до организации управления в ней. В связи с этим условно выделяют следующие подходы к анализу и проектированию:

- *Системно-элементный подход*: отвечает на вопрос о том, из чего (каких элементов) образована система.

- *Системно-структурный подход* направлен на выявление компонентного состава системы и связей между ними, обеспечивающих целенаправленное функционирование (предметами исследований являются состав,

структура, конфигурация, топология и т.п.)

- *Системно-функциональный подход* направлен на рассмотрение системы с точки зрения ее поведения в среде для достижения целей.

В данном случае рассматриваются динамические характеристики, устойчивость, живучесть, эффективность, т.е. все то, что при неизменной структуре системы зависит от свойств ее элементов и их отношений.

- *Системно-генетический подход* (или системно-исторический) подход направлен на изучение системы с точки зрения ее развития во времени.

- *Системно-коммуникативный подход* направлен на изучение системы с точки зрения ее отношений с другими, внешними по отношению к ней системами.

- *Системно-управленческий подход*. Система постоянно испытывает на себе внутренние и внешние возмущающие воздействия. Между тем система живет, функционирует, развивается. Значит, наряду со специфическим набором компонентов, внутренней организацией (структурой) и т.д., есть и другие системообразующие, системосохраняющие факторы. Эти факторы обеспечения устойчивости жизнедеятельности системы называют управлением.

Системно-управленческий подход направлен на изучение системы с точки зрения обеспечения ее целенаправленного функционирования в условиях внутренних и внешних возмущений.

- *Системно-информационный подход* направлен на изучение системы с точки зрения передачи, получения, хранения и обработки данных внутри системы и в связи со средой.

### Принципы системного анализа

При системном анализе процессов в техносфере необходимо пользоваться следующими принципами:

1. При интерпретации объекта как системы каждый элемент следует описывать не как таковой, а с учетом его места в системе.

2. Исследование системы необходимо проводить неотделимо от исследования окружающей ее среды.

3. Центральным моментом системного исследования должно быть изучение порождения свойств целого из свойств элементов и наоборот.

4. В системном исследовании следует стремиться устанавливать не только чисто причинные объяснения функционирования и развития объекта, но и их целесообразность.

5. Источник преобразований системы следует искать в ней самой; нередко он связан с ее самоорганизацией и самонастройкой.

6. Необходимыми частями системного исследования нужно считать выявление целостности объекта, изучение его внутренних и внешних связей, структуры и функций, определение системообразующих факторов, интегральных свойств и показателей.

При исследовании сложных техносферных объектов (человеко-машинные системы) и предметов исследования (объективные закономерности появления и предупреждения происшествий при их функционировании), точнее, тех особенностей, которые имеют существенное значение для моделирования, системного анализа и синтеза соответствующих процессов, возникают некоторые проблемы.

Во-первых, это трудоемкость моделирования и системного исследования человеко-машинной системы. Ведь не возможно определить ее

существенные свойства без выявления структуры, а также оценить важность системообразующих компонентов без учета их интегральных свойств и взаимодействующих обратных связей.

Во-вторых, это невозможность точного прогноза интегральных показателей столь сложной системы, не говоря уже о траектории их изменения. В связи с этим основное внимание в моделировании процессов в техносфере следует уделять уяснению тех внутренних закономерностей и каждой конкретной человеко-машинной системы, воздействия на которые окажется наиболее результативным.

Чем сложнее система, тем менее правдоподобны точные количественные предсказания ее будущего поведения.

#### 2.1.6. Методология системного анализа

Системный подход следует рассматривать как некоторый методологический подход человека к действительности, представляющий собой некую общность принципов, системное мировоззрение.

Подход – это совокупность приемов, способов воздействия на кого-либо, в изучении чего-нибудь, ведении дела и т.д.

*Системный подход* – это методология научного познания и практической деятельности, а также объяснительный принцип, в основе которых лежит рассмотрение объекта как системы.

Основной акцент при применении системного подхода делается на анализе целостных свойств объекта, выявлении его различных связей и структуры, особенностей функционирования и развития.

Системный подход представляется достаточно универсальным подходом при анализе, исследовании, проектировании и управлении любых сложных технических, экономических, социальных, экологических, политических, биологических и других систем.

Системный метод реализует познавательную и методологическую функции. Он выступает как некоторая интегральная совокупность относительно простых методов и приемов познания, а также преобразования действительности. Конечная цель любой системной деятельности заключается в выработке решений, как на стадии проектирования систем, так и при управлении ими.

Центральное место в исследовании занимают два противоположных подхода: анализ и синтез.

Анализ предусматривает процесс разделения целого на части. Он весьма полезен в том случае, если требуется выяснить, из каких частей (элемен-

тов, подсистем) состоит система. Посредством анализа приобретаются знания. Однако при этом нельзя понять свойства системы в целом. Задача синтеза – построение целого из частей. Посредством синтеза достигается понимание.

Системный подход состоит в многосвязности процесса решения: этапы рассматриваются совместно, во взаимосвязи и диалектическом единстве. При этом возможен переход к любому этапу, в том числе и возврат к постановке цели исследования.

В настоящее время отсутствуют какие-либо устоявшиеся, общепринятые технологии системного анализа. Системный анализ в настоящее время представляет собой слабосвязанную совокупность приемов и методов неформального и формального характера.

Кроме того, нет однозначности в понимании самого системного анализа. Ю.П. Сурминым выделяются следующие варианты понимания сущности системного анализа:

- Отождествление технологии системного анализа с технологией научного исследования. При этом для самого системного анализа в этой технологии практически не находится места.

- Сведение системного анализа к системному конструированию.

По сути, системно-аналитическая деятельность отождествляется с системотехнической.

- Очень узкое понимание системного анализа, сведение его к одной из его составляющих, например к структурно-функциональному анализу.

- Отождествление системного анализа с системным подходом в аналитической деятельности.

- Понимание системного анализа как исследования системных закономерностей.

- В узком смысле под системным анализом довольно часто понимают совокупность математических методов исследования систем.

- Сведение системного анализа к совокупности методологических средств, которые используются для подготовки, обоснования и реализации

решений сложных проблем.

Таким образом, то, что называют системным анализом, представляет собой недостаточно интегрированный набор методов и приемов системной деятельности.

Наиболее важную часть методологии системного анализа составляют ее методы и методики (для простоты в дальнейшем обобщенно будем говорить о методиках).

В качестве простейшего варианта методики системного анализа можно рассматривать такую последовательность:

- 1) постановка задачи;
- 2) структуризация системы;
- 3) построение модели;
- 4) исследование модели.

Другие примеры и анализ этапов первых методик системного анализа приведены в книге, где рассматриваются методики ведущих специалистов системного анализа 70-х и 80-х годов прошлого столетия:

С. Оптнера, Э. Квейда, С. Янга, Е.П. Голубкова. Ю.Н. Черняка.

## Примеры

Этапы методик системного анализа по *С. Оптнеру*:

1. Идентификация симптомов.
2. Определение актуальности проблемы.
3. Определение цели.
4. Вскрытие структуры системы и ее дефектных элементов.
5. Определение структуры возможностей.
6. Нахождение альтернатив.
7. Оценка альтернатив.
8. Выбор альтернативы.
9. Составление решения.
10. Признание решения коллективом исполнителей и руководителей.
11. Запуск процесса реализации решения.
12. Управление процессом реализации решения.
13. Оценка реализации и ее последствий.

Этапы методик системного анализа *по С. Янгу*:

1. Определение цели системы.
2. Выявление проблем организации.
3. Исследование проблем и постановка диагноза.
4. Поиск решения проблемы.
5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них.
6. Согласование решений в организации.
7. Утверждение решения.
8. Подготовка к вводу.
9. Управление применением решения.
10. Проверка эффективности решения.

Этапы методик системного анализа *по Ю.И. Черняку*:

1. Анализ проблемы.
2. Определение системы.
3. Анализ структуры системы.
4. Формирование общей цели и критерия.
5. Декомпозиция цели и выявление потребности в ресурсах и процессах.
6. Выявление ресурсов и процессов – композиция целей.
7. Прогноз и анализ будущих условий.
8. Оценка целей и средств.
9. Отбор вариантов.
10. Диагноз существующей системы.
11. Построение комплексной программы развития.
12. Проектирование организации для достижения целей.

Из анализа и сопоставления этих методик видно, что в них в той или иной форме представлены следующие этапы:

- выявление проблем и постановка целей;
- разработка вариантов и модели принятия решения;
- оценка альтернатив и поиска решения;
- реализация решения.

Кроме того, в некоторых методиках имеются этапы оценки эффективности решений. В наиболее полной методике Ю.И. Черняка особо предусмотрен этап проектирования организации для достижения цели.

При этом различные авторы акцентируют свое внимание на разных этапах, соответственно более подробно их детализируя.

Конечная цель системного анализа – оказать помощь в понимании и решении имеющейся проблемы, что сводится к поиску и выбору варианта решения проблемы. Результатом будет выбранная альтернатива либо в виде управленческого решения, либо в виде создания новой системы (в частности,

системы управления) или реорганизации старой, что опять же является управленческим решением.

В общем виде этапы системного анализа объекта выглядят следующим образом:

1. Определение границы исследуемой системы.
  2. Определение всех подсистем, в которые входит исследуемая система в качестве части.
  3. Определение основных черт и направлений развития всех над систем, которым принадлежит данная система в частности, формулировка их целей и противоречий между ними.
  4. Определение роли исследуемой системы в каждой надсистеме с рассмотрением этой роли как средства достижения целей надсистемы.
- Следует рассмотреть при этом два аспекта: идеализированную, ожидаемую роль системы с точки зрения надсистемы, т.е. те функции, которые следовало бы выполнять, чтобы реализовать цели надсистемы;
5. Выявление состава системы, т.е. определение частей, из которых она состоит.
  6. Определение структуры системы, представляющей собой совокупность связей между ее компонентами.
  7. Определение функций активных элементов системы, их «вклада» в реализацию роли системы в целом.
  8. Выявление причин, объединяющих отдельные части в систему, в целостность.
  9. Определение всех возможных связей, коммуникаций системы с внешней средой.
  10. Рассмотрение исследуемой системы в динамике, в развитии [1, 3, 5–8].

Изложенная здесь последовательность процедур системного анализа не является обязательной и закономерной. Обязательным является скорее сам перечень процедур, чем их последовательность. Единственное правило заключается в целесообразности многократного возвращения в ходе исследо-

вания к каждой из описанных процедур. Только это является залогом глубокого и всестороннего изучения любой системы.

## 2.2. Моделирование систем и процессов

### 2.2.1. Понятие модели и моделирования

При исследовании объектов окружающего мира возникает необходимость их представления, анализа и хранения в удобном виде. При проектировании чего-либо изначально формируется некоторый образ этого нового, который необходимо представить. Данные задачи требуют фиксации (представления) информации об объекте в виде некоторого образа (словесного, графического и т. п.).

В связи с этим в деятельности человека большую роль играют модели и моделирование. Особенно незаменимо моделирование при работе со сложными объектами. Все это делает моделирование важнейшим инструментом системного анализа.

Модель в широком понимании – это образ (в том числе условный или мысленный) какого-либо объекта или системы объектов, используемый при определенных условиях в качестве их «заместителя» или «представителя».

*Модель* – это упрощенное подобие объекта, которое воспроизводит интересующие нас свойства и характеристики объекта-оригинала или объекта проектирования.

Моделью Земли служит глобус, звездного неба – экран планетария. Чучело животного есть его модель, а фотография на паспорте или любой перечень паспортных данных – модель владельца паспорта.

Моделирование связано с выяснением или воспроизведением свойств какого-либо реального или создаваемого объекта, процесса или явления с помощью другого объекта, процесса или явления.

*Моделирование* – это построение, совершенствование, изучение и при-

менение моделей реально существующих или проектируемых объектов (процессов и явлений).

Есть три основных причины для моделирования объектов и процессов:

1. *Сложность реальных объектов.* Число факторов, которые относятся к решаемой проблеме, выходит за пределы человеческих возможностей. Поэтому одним из выходов (зачастую единственным) в сложившейся ситуации является упрощение ситуации с помощью моделей, в результате чего уменьшается разнообразие этих факторов до уровня восприимчивости специалиста.

2. *Необходимость проведения экспериментов.* На практике встречается много ситуаций, когда экспериментальное исследование объектов ограничено высокой стоимостью или вовсе невозможно (опасно, вредно, ограничено на современном этапе развития).

3. *Необходимость прогнозирования.* Важное достоинство моделей состоит в том, что они позволяют «заглянуть в будущее», дать прогноз развития ситуации и определить возможные последствия принимаемых решений.

Кроме того, исследуемый объект может быть либо очень велик (модель Солнечной системы), либо очень мал (модель атома); процесс может протекать очень быстро (модель двигателя внутреннего сгорания) или очень медленно (геологические модели); исследование объекта может привести к его разрушению (модель самолета, автомобиля), что также значимо при выборе моделирования как метода исследования.

Следует отметить две особенности моделирования:

1. Поскольку к моделированию прибегают из-за сложности изучаемого объекта, модель заведомо проще оригинала. В зависимости от цели исследования отсекаются несущественные качества объекта.

2. Каждая модель создается под определенную исследовательскую задачу и не всегда применима к решению других. Распространенный в науке перенос моделей с одной задачи на другую далеко всегда оправдан и обоснован.

Для моделирования используются два типа моделей: описательные и нормативные.

*Описательные модели* (дескриптивные, познавательные) предназначены для описания свойств или поведения реальных объектов. Они являются формой представления знаний о действительности (план города, отчет о деятельности фирмы, психологическая характеристика личности).

Можно назвать следующие цели описательного моделирования в зависимости от решаемых задач:

- научные исследования – наиболее полно и точно отразить свойства объекта;
- управление – наиболее точно отразить свойства объекта в рабочем диапазоне изменения его параметров;
- прогнозирование – построить модель, способную наиболее точно прогнозировать поведение объекта в будущем;
- обучение – отразить в модели изучаемые свойства объекта.

*Нормативные модели* (прескриптивные, прагматические) предназначены для указания целей деятельности и определенного порядка (алгоритма) действий для их достижения. Цель – образ желаемого будущего, т.е. модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность.

Алгоритм – образ (модель) будущей деятельности.

При нормативном моделировании обычно не используют слово «модель» – чаще говорят «проект», «план» (проекты машин, зданий; планы застройки; законы; уставы организаций и должностные инструкции, бизнес-планы, программы действий).

Познавательные и прагматические модели можно классифицировать по характеру выполняемых функций, форме, зависимости объекта моделирования от времени.

Модели по форме делятся:

- на физические – материальные объекты, имеющие сходство с оригиналом (модель самолета, которая исследуется в аэродинамической трубе; модель плотины);
- словесные (вербальные) – словесное описание чего-либо (внешность

человека, принцип работы устройства, структура предприятия);

- графические – описание в виде графических изображений (схемы, карты, графики, диаграммы);

- знаковые – описание в виде символов и знаков (дорожные знаки, условные обозначения на схемах, математические соотношения). Разновидностью знаковых моделей являются математические модели.

Математическая модель (или математическое описание) – это система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или явление.

Примеры математических моделей:  $X > 5$ ;  $U = IR$ ;  $34y + 5x = 0$ .

### 2.2.2. Математические модели

Рассмотрим постановку задачи и алгоритмы решения задач построения математических моделей аналитическими и статистическими методами.

Пусть имеется некоторый объект с  $m$  входами  $X = (x_1, \dots, x_m)$  и одним выходом  $y$ , связанными некоторой функциональной зависимостью

$$y = F(X, A) + \varepsilon,$$

где  $A = (a_1, \dots, a_m)$  – вектор коэффициентов (параметров);  $\varepsilon$  – помехи.

Необходимо по выборке из  $k$  значений  $W = \{w^1, \dots, w^i, \dots, w^k\}$ ,

где  $w^i = \{y^i, x^i\}$ , найти такое функциональное преобразование, чтобы минимизировать некоторый критерий рассогласования модели и объекта (критерий качества модели):  $\min, F$

В задаче построения математической модели возникает ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- выбор структуры модели (функции  $F(X, A)$ );
- оценивание вектора коэффициентов модели  $A$ ;
- выбор критерия оценки качества модели  $D$ .

Все эти задачи тесно связаны между собой: выбирая структуру модели,

надо оценивать ее качество, а чтобы оценить качество модели, необходимо предварительно найти ее коэффициенты.

Выделяют следующие методы построения математических моделей:

- аналитический;
- статистический (экспериментальный);
- экспериментально-аналитический.

Аналитические модели (их еще называют «физическими») строятся исходя из анализа объекта и известных законов (физики, химии, экономики и т.п.).

Экспериментальные модели строятся на основе экспериментальных данных, полученных с объекта исследования. Фактически используется метод «черного ящика», при котором математические модели строятся на основании наблюдений за входными и выходными значениями. Построение математических моделей по результатам наблюдения входных и выходных переменных объекта получило название «идентификация». При этом определяются не только коэффициенты модели (идентификация в узком смысле), но и ее структура (структурная идентификация).

Однако, как показывает практика, ни тот ни другой подход не используется в чистом виде: при построении аналитических моделей приходится их подстраивать по данным эксперимента, а в экспериментальных моделях закладываются некоторые априорные сведения об объекте (применяется так называемый метод «серого ящика»). Поэтому наиболее распространен экспериментально-аналитический подход, когда исходная структура модели строится на основании анализа процессов в системе, а коэффициенты определяются по экспериментальным данным.

### Выбор структуры модели

Уточним постановку задачи структурной идентификации. Будем считать, что нам ничего не известно о структуре истинной зависимости  $F$ . Тогда при входных переменных теоретически может существовать бесконечное ко-

личество структур  $F(X, A)$ , принадлежащих  $f$ . Поскольку нам не известна структура  $F^0$ , то, если даже мы найдем такую  $F$ , которая равна  $F^0$ , мы не узнаем об этом.

Решение любой задачи выбора состоит из двух подзадач: «генерация» альтернатив и формирование критерия выбора наилучшей из них.

В отношении структуры модели эти подзадачи можно сформулировать как необходимость:

- разработать алгоритм «генерации» (перебора) структур;
- сформировать критерий оценки качества структуры (качества модели).

### Методы и алгоритмы выбора структур моделей

1. *Методы шаговой регрессии.* Основная идея шаговой (пошаговой) регрессии заключается в гипотезе о том, что искомую структуру можно найти, трансформируя модель путем следующих последовательных действий:

1) добавления к модели наиболее значимых по некоторому критерию переменных (метод включения, или «присоединения»);

2) исключения незначимых по некоторому критерию переменных (метод исключения, или «удаления»);

3) добавления наиболее значимых переменных при одновременном исключении незначимых (метод добавления-исключения, или «присоединения-удаления»).

2. *Метод включения* начинает свою работу с выбора наиболее значимой (по некоторому критерию) переменной (функции) из списка:

Затем из оставшихся переменных выбирается наиболее значимая и включается в модель. И так до тех пор, пока улучшается качество модели.

Качество последней во многом зависит от порядка вхождения переменных в модель, который, в свою очередь, определяется используемым критерием включения. Поскольку между переменными практически всегда имеется ненулевая корреляционная зависимость, не выполняется правило ади-

тивности. В результате переменная, значимая на предыдущих шагах, может стать незначимой на последующих, и ее присутствие может препятствовать включению в модель другой, более значимой переменной. Эта особенность ограничивает возможность метода включения.

3. *Метод исключения* первоначально рассматривает модель, в которую включены все имеющиеся  $L$  входных переменных. Затем из них последовательно исключаются незначимые (по некоторому критерию) переменные до тех пор, пока улучшается качество модели. Структура конечной модели может совпадать со структурой, полученной по методу включения, но для сложных моделей это скорее исключение, чем правило. Данному методу присущ недостаток метода включения: исключенные на предыдущих шагах переменные могут оказаться значимыми после исключения других переменных. Кроме того, к недостаткам можно отнести и повышенные требования к вычислительным ресурсам при работе с массивами большого размера на первых шагах алгоритма, а при небольших выборках экспериментальных данных алгоритм может вообще не работать (например, если  $k < L$ ).

4. Объединение вышеназванных методов дает *метод включения-исключения*, в основе которого лежит метод включения, но дополнительно на каждом шаге алгоритма происходит проверка переменных на значимость: незначимые переменные исключаются из модели. При кажущейся эффективности такого подхода метод не дает уверенности в оптимальности найденной структуры. В работе предложен алгоритм, автоматически выбирающий порог исключения переменных, что частично решает проблему выбора соответствующего критерия, но опять же не гарантирует нахождения глобального экстремума.

5. *Метод группового учета аргументов* (МГУА). Сложно говорить о МГУА как о конкретном методе, поскольку начиная с 1968 года разработаны десятки его разновидностей. В МГУА можно выделить два направления: комбинаторные и селективные (еще их называют многорядными) алгоритмы. В комбинаторном алгоритме сначала рассматривается множество моделей от

одной переменной:

$$y_r = a_0 + a_1 z_r$$

$$z_r \in \{x_i, x_j, i, j = 1, \dots, m\}$$

Затем рассматривается множество всех возможных моделей от двух переменных:

Далее от трех и так до тех пор, пока улучшается критерий  $D$ . Возможности комбинаторного алгоритма ограничены возможностями вычислительной техники, поскольку ввод одной дополнительной входной переменной увеличивает время счета примерно вдвое.

### Выбор критерия оценки качества модели

Различные алгоритмы порождают необходимость определиться с множеством различных критериев. В частности, необходимо выбрать критерий включения переменных в модель и их исключения, критерий останова алгоритма и критерий оценки окончательной модели.

Общий принцип останова шаговых алгоритмов структурной идентификации следующий: расчеты надо прекращать, когда дальнейшая работа алгоритма не приводит к улучшению качества модели. Отсюда следует общность критериев останова и качества модели.

Критерий оценки качества модели зависит от ее назначения. Например, если предполагается использовать модель для управления или прогнозирования, то необходима высокая прогностическая способность модели – на одни и те же входные воздействия модель и объект должны давать близкие результаты на выходе. Если модель используется в системе измерений, то целью является минимум максимального отклонения значений модели и объекта.

Если необходимо построить распознающую систему, то в качестве критерия берут ошибку распознавания – отношение правильных ответов к общему их числу.

Все критерии останова, алгоритмов структурной идентификации (они же критерии качества модели), за исключением критерия достижения заданного числа входных переменных в модели и ему подобных, можно разбить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние критерии вычисляются на основании данных, участвующих в построении модели, а внешние – на основании дополнительных данных.

К внутренним критериям в первую очередь следует отнести остаточную ошибку модели – сумму отклонений (абсолютных или квадратов разностей) значений выходных переменных объекта и модели. Далее следует назвать коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции  $R^2$ ), приведенную остаточную ошибку, приведенный  $R^2$  и критерий Марллоуса  $C_p$ , а также другие критерии.

Более надежным представляется использование нескольких выборок данных: по одним выборкам строится модель, а по другим – оценивается ее качество.

В ряде работ дополнительные экспериментальные данные (экзаменационные точки) предлагается применять для оценки качества готовых моделей. Таким образом, предлагается из множества экспериментальных данных выделять часть точек в качестве контрольных. Среднеквадратичная ошибка на этих точках может служить в качестве критерия останова алгоритмов структурной идентификации.

Если наблюдать поведение модели на дополнительных экспериментальных точках, то можно заметить, что с некоторого шага модель начинает удаляться от этих точек (в случае неустойчивости это удаление начинается с первого же шага). Исходя из этого, предлагается определять момент останова алгоритма по ошибке на контрольных точках – расчеты прекращаются в момент достижения первого минимума ошибки по шагам алгоритма.

В силу независимости от конкретного алгоритма в качестве критерия качества готовых моделей или для сравнения моделей, построенных с помощью различных алгоритмов, предлагается также использовать среднеквадра-

тичную ошибку на контрольных точках.

#### Оценивание параметров модели

Будем считать, что нам известна структура модели (оператора  $F$ ), но не известны коэффициенты (параметры) этой модели. Какой бы точной ни была структура модели, практически всегда имеются параметры, которые необходимо найти или уточнить. Задача оценивания параметров модели ставится как задача оптимизации: необходимо найти такой вектор параметров  $A$  из области допустимых значений  $\Omega$ , чтобы минимизировать некоторую функцию отклонения значений выхода модели ( $ym$ ) от выхода объекта ( $y$ ) при одних и тех же значениях входных переменных:

Однако применения этого метода предъявляются определенные требования к данным:

а) входные переменные модели должны быть линейно независимыми, что выполняется;

б) помехи, действующие на систему, должны иметь нормальное распределение.

Эти требования выполняются далеко не всегда, что может привести ненадежным оценкам параметров модели. Другой проблемой является ограниченность имеющейся выборки данных (набор экспериментальных точек). Для параметров модели используется эмпирическое правило: для корректной, надежной оценки одного параметра необходимо 5–10 экспериментальных точек. Однако бывают ситуации, когда получение достаточного числа точек крайне затруднено или очень дорого.

### 2.2.3. Математическое моделирование

*Математическое моделирование* – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением ре-

альных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала. Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических конструкций, описывают основные свойства объекта, процесса или системы, его параметры, внутренние и внешние связи. Эти требования выполняются далеко не всегда, что может привести к ненадежным оценкам параметров модели.

Другой проблемой является ограниченность имеющейся выборки данных (набор экспериментальных точек). Для параметров модели используется эмпирическое правило: для корректной, надежной оценки одного параметра необходимо 5–10 экспериментальных точек. Однако бывают ситуации, когда получение достаточного числа точек крайне затруднено или очень дорого.

*Математическое моделирование* – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала. Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических описывают основные свойства объекта, процесса системы, его параметры, внутренние и внешние связи.

В общем случае математическая модель реального объекта, процесса или системы представляется в виде системы функционалов:

При построении математической модели перед исследователем возникает задача выявить и исключить из рассмотрения факторы, несущественно влияющие на конечный результат (математическая модель обычно включает значительно меньшее число факторов, чем в реальной действительности). На основе данных эксперимента выдвигаются гипотезы о связи между величинами, выражающими конечный результат, факторами, введенными в математическую модель. Такая связь зачастую выражается системами дифференциальных уравнений в частных производных (например, в задачах механики

твердого тела, жидкости газа, теории фильтрации, теплопроводности, теории электростатического тродинамического полей).

Конечной целью этого этапа является формулирование математической задачи, решение которой с необходимой точностью выражает результаты, интересующие специалиста.

По принципам построения математические модели разделяют:

- на аналитические;
- имитационные.

На аналитических моделях процессы функционирования реальных объектов, процессов или систем записываются в виде явных функциональных зависимостей.

*Аналитическая модель* разделяется на типы в зависимости от математической проблемы:

- уравнения (алгебраические, трансцендентные, дифференциальные, интегральные);
- аппроксимационные задачи (интерполяция, экстраполяция, численное интегрирование и дифференцирование);
- задачи оптимизации;
- стохастические проблемы.

Однако по мере усложнения объекта моделирования построение аналитической модели превращается в трудноразрешимую проблему. Тогда исследователь вынужден использовать имитационное моделирование.

В *имитационном моделировании* функционирование объектов, процессов или систем описывается набором алгоритмов. Алгоритмы имитируют реальные элементарные явления, составляющие процесс или систему с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет о исходным данным получить сведения о состояниях процесса или системы в определенные моменты времени, однако прогнозирование поведения объектов, процессов или систем здесь затруднительно.

Можно сказать, что имитационные модели – это проводимые на ЭВМ вычислительные эксперименты с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов или систем.

В зависимости от характера исследуемых реальных процессов и систем математические модели могут быть:

- детерминированные;
- стохастические.

*В детерминированных моделях* предполагается отсутствие различных случайных воздействий, элементы модели (переменные, математические связи) достаточно точно установленные, поведение системы можно точно определить. При построении детерминированных моделей чаще всего используются алгебраические уравнения, интегральные уравнения, матричная алгебра.

*Стохастическая модель* учитывает случайный характер процессов в исследуемых объектах и системах, который описывается методами теории вероятности и математической статистики.

По степени соответствия между математической моделью и реальным объектом, процессом или системой математические модели разделяют:

- на изоморфные (одинаковые по форме);
- гомоморфные (разные по форме).

Модель называется изоморфной, если между ней и реальным объектом, процессом или системой существует полное поэлементное соответствие. Гомоморфной – если существует соответствие лишь между наиболее значительными составными частями объекта и модели.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Сформулируйте определения понятий «модель», «моделирование».
2. Какие принципы моделирования существуют?
3. Для каких целей создаются дескриптивные модели?
4. Какие существуют особенности моделей по сравнению с реальными объектами?
5. Дайте определение системного анализа. Какие основные этапы включает системный анализ?

6. Перечислите подходы к анализу и проектированию систем.
7. Какие общие этапы можно выделить в методологии системного анализа?
8. Что такое система и из чего она состоит?
9. Существуют ли в природе системы как таковые?
10. Какие основные признаки используются для классификации систем?
11. Какими свойствами характеризуются системы? Какие принципы для них характерны?
12. В чем состоят принципиальные отличия между сложными и простыми системами?
13. Какой (гомогенной или гетерогенной) системой является фабрика?
14. Охарактеризуйте статистические и динамические системы. Приведите примеры.
15. Какое содержание имеет термин «эмерджентность»?
16. Чем отличаются статистические и динамические системы?
17. Перечислите основные принципы системного анализа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
2. Волкова В.Н. Концепции современного естествознания: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2006. – 200 с.
3. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории управления и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с. 77
4. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 216 с.
5. О'Конор Д., Мак-Дермот Я. Искусство системного мышления. Творческий подход к решению проблем и его основные стратегии. – Киев: София, 2001. – 304 с.
6. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИН-ТЕГ, 2000. – 528 с.
7. Системный анализ и принятие решений: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.
8. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. – Киев: МЛУП, 2003. – 368 с.

## Лекция 4. ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ

Рассматриваемые вопросы:

- 4.1. Методы и инструменты идентификации рисков
  - 4.1.1. Источники информации для идентификации
  - 4.1.2. Методы выявления рисков
- 4.2. Моделирование и анализ моделей процессов с целью выявления источников риска
  - 4.2.1. Общие принципы моделирования
  - 4.2.2. Проверка адекватности модели
  - 4.2.3. Моделирование систем и процессов для идентификации рисков
  - 4.2.4. Показатели надежности технических систем

### 4.1. Методы и инструменты идентификации рисков

#### 4.1.1. Источники информации для идентификации

Наиболее полезной и адекватной информацией для выявления рисков является документация, содержащая статистические данные по изучаемому объекту. Это связано с тем, что такие данные учитывают все специфические особенности функционирования и развития объекта, включая те, которые важны для анализа рисков (климатические и географические условия, особенности технологии, конъюнктура рынков сырья и готовой продукции, специфика управления и т.п.).

Вместе с тем в ряде случаев нельзя ограничиться только информацией из внутренних источников, что связано с возможными недостатками таких данных. Среди них можно назвать:

1. *Изменение тенденций.* Прогнозирование на основе прошлой статистики всегда базируется на предположении о том, что тенденции, наблюдаемые в прошлом, в той или иной степени сохранятся и в будущем. Однако их изменение может существенно ограничить полезность собранных данных. Так, статистика российских предприятий начала 90-х годов XX века вряд ли может быть использована для прогнозирования в настоящий момент. Иногда в статистику вносят поправки, повышающие возможность ее исполь-

зования для оценивания рисков.

*2. Ограниченность объема информации.* Не всегда статистические данные присутствуют в достаточном количестве. Если организация или проект не имеет аналогов, такие данные могут отсутствовать вообще.

*3. Искажения наблюдаемых данных.* Несмотря на то, что внутренние источники информации наиболее адекватны исследуемому объекту, наблюдаемые данные не свободны от некоторых искажений. Это может быть связано как со случайными колебаниями статистики, так и с ошибками наблюдения.

Для преодоления указанных недостатков внутренние источники данных должны быть дополнены сведениями из внешних источников информации, напрямую не связанных с деятельностью данной фирмы. К таким источникам относятся отраслевая статистика, данные, полученные из анализа деятельности конкурентов, сведения об авариях, произошедших на аналогичных предприятиях. Конечно, подобная информация может не вполне соответствовать качественной характеристике изучаемого объекта или риска, но в условиях дефицита информации она также может дать знания, важные для принятия решений в области управления риском.

Ниже дана характеристика и возможности использования различных источников информации для идентификации и анализа рисков организации.

*1. Документация.* Документация может содержать информацию о различных аспектах деятельности фирмы (финансовая, техническая и другие виды документации), так что с ее помощью будут анализироваться разнородные риски. Документы могут служить источником как количественных данных (статистики), так и качественной информации.

Правильно организованный документооборот в фирме будет являться важным аспектом эффективного процесса управления риском. Информация о произошедших авариях служит хорошим источником качественной информации о реализации риска и его возможных последствиях.

Организационная схема и схема принятия решений в изучаемой орга-

низации дает некоторые представления о сферах деятельности, взаимодействии подразделений, в том числе с точки зрения получения и распределения доходов и анализа издержек, о специфике распределения ответственности за принятие и исполнение управленческих решений. Это позволяет сформировать первичное представление о портфеле рисков и предварительно выявить узкие места в деятельности организации.

Схемы денежных, ресурсных и информационных потоков полезны для понимания особенностей технологии производства, снабжения и продаж данной фирмы, а также специфики ее управления. Степень подробности соответствующих схем должна определяться особенностями анализируемых рисков, в частности уровнем их реализации и появления экономического ущерба.

**2. Персонал.** Данный источник информации способствует вовлечению в процесс идентификации и анализа рисков опыта и знаний людей, непосредственно сталкивающихся с ними в своей повседневной работе, что позволяет более ответственно и глубоко проводить подобное исследование. Объем и качество информации, полученной в рамках такого источника, будут зависеть от типов вопросов и метода проведения опроса.

**3. Визуальный осмотр.** Некоторые аспекты деятельности предприятия или особенности тех или иных процессов нельзя выявить из документов. В этом случае расследование того, что и как произошло или может произойти, осуществляется на месте. Одновременно появляется возможность напрямую пообщаться с находящимися там сотрудниками, от которых зависит фактический уровень риска.

При проведении визуального осмотра исследуются различные аспекты, влияющие на причины и уровень риска. Проверке могут подлежать: условия содержания, соблюдение техники безопасности и санитарных норм, пространственное расположение объектов, связи между операциями. При изучении условий содержания и соблюдения различных требований анализируется не только подверженность рискам пожара, взрыва, несчастного случая и т.д.,

но и общее отношение сотрудников и администрации к безопасности. По косвенным признакам можно оценить уровень трудовой дисциплины, которая также влияет на вероятность ошибок и упущений в работе.

Пространственное расположение объектов производится с целью выяснить:

- подверженность организации рискам окружающей среды (в т.ч. риску наводнений, оползней и т.д.);

- наличие и подверженность окружающих организацию объектов (строений, лиц, имущества) рискам аварий на данном предприятии;

- возможность кумуляция риска, то есть одновременного причинения вреда сразу нескольким объектам в результате одного и того же события;

- взаимное расположение людей и возможных источников вредного воздействия (огня, ядовитых веществ, излучений и т.д.);

- пути возможного распространения аварии и эвакуации людей.

В процессе исследования связей между операциями выявляются направления потоков (физических, информационных, бизнес-процессов, энергоснабжения и т.д.). При этом основным является вопрос: где (что) и почему может быть заблокировано. Для поиска ответа на него по результатам инспекции часто составляются различные схемы процессов, как на уровне отдельных технологических операций, так и на уровне всей организации в целом. На правильно составленной схеме хорошо видно влияние того или иного элемента на весь процесс.

Но далеко не всегда удастся определить степень подверженности отдельных составляющих различным рискам. Иными словами, обычно видно, что произойдет с процессом, если конкретная операция не будет выполнена, но не видно из-за чего такое может наступить. Поэтому составление схем приходится комбинировать с другими источниками информации о рисках.

**4. Инспекции и экспертизы.** Позволяет сочетать изучение конкретного объекта, подверженного риску, и опыта эксперта (инспектора), который бы-

вает сложно формализовать при анализе других источников. Результаты инспекции и/или экспертизы наиболее адекватны целям и задачам процесса управления рисками, включая этап их идентификации и анализа. Однако препятствием для более широкого использования данного источника является его достаточно высокая стоимость.

Среди государственных органов, информация которых полезна для идентификации рисков, можно выделить:

- службы, отвечающие за пожарную безопасность и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций;
- органы, контролирующие опасные технические объекты (подъемные механизмы, сосуды под высоким давлением и т.д.);
- правоохранительные органы;
- санитарный надзор и организации, контролирующие безопасность труда;
- государственные службы финансового мониторинга и регуляторы отдельных видов финансовой деятельности (банков, страхования финансовых рынков);
- статистические бюро и т.д.

Они обладают статистическими сведениями по своим направлениям, которые дают возможность оценить средние уровни рисков по стране, региону, отрасли, наиболее опасные события и их последствия.

Сведения, характеризующие уровень риска на конкретном предприятии, можно получить из результатов инспекции соответствующих органов, разумеется, при условии, что такая проверка производилась компетентно и объективно.

#### 4.1.2. Методы выявления рисков

Идентификация риска – первый этап управления риском, цель которого состоит в установлении потенциальных источников причинения ущерба пу-

тем проведения полного анализа всех возможных случаев, которые могут произойти в результате небрежности, недосмотра или несчастного случая, характерных для определенного вида деятельности, и определении их характеристик, иными словами, идентификация риска – это процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска.

Для реализации данного этапа существует множество методов и технологий.

Методы экспертных оценок базируются на мнениях специалистов по интересующему объекту или системе. Эксперты, детально знающие данный объект, должны высказывать свое мнение, причем опрос должен проводиться среди специалистов разного профиля, которые будут оценивать и характеризовать объект с различных сторон. Анализируются отдельные элементы, системы с точки зрения выходов из строя, разрушений, возможности отклонения параметров за определенные значения, рассматривается взаимосвязь и влияние различных систем друг на друга. Градация и шкала экспертных оценок может быть различной – 5-, 10-, 100-балльная.

При этом не ставится вопрос о том, каким образом эксперты будут оценивать безопасность данного объекта. Здесь имеет значение их опыт, знания в смежных областях. Метод экспертных оценок может проводиться на разных стадиях – начиная с обсуждения проекта, кончая оценкой состояния безопасности работающего оборудования.

Социологические методы, так же как и методы экспертных оценок, основаны на опросе, но, в отличие от первого метода, опрашиваются не специалисты, а дилетанты. Дело в том, что этот метод основан на опросе людей, заинтересованных в безопасности обсуждаемого объекта.

Информацию об этом объекте, степени его надежности и безопасности люди получают из средств массовой информации, популярных изданий, массовых газет и журналов, публичных выступлений специалистов, из различных дискуссий. Иногда этим методом оценки риска бывают охвачены группы населения, целые регионы.

## Экспертные методы

Основным достоинством индивидуальных экспертных методов является оперативность получения информации для принятия решений и относительно небольшие затраты. В качестве недостатка следует выделить высокий уровень субъективности и, как следствие, отсутствие уверенности в достоверности полученных оценок.

Указанный недостаток призваны устранить или ослабить коллективные экспертные оценки, которые, как правило, менее субъективны, и решения, принятые на их основе, связаны с большей вероятностью осуществления.

Используя групповые экспертные процедуры, предполагают, что при решении проблем в условиях неопределенности мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта, т.е. что две группы одинаково компетентных экспертов с большей вероятностью дадут аналогичные ответы, чем два эксперта. Предполагается также, что совокупность индивидуальных ответов экспертов должна включать «истинный» ответ.

Можно выделить следующие типы групповых экспертных процедур:

- 1) открытое обсуждение поставленных вопросов с последующим открытым или закрытым голосованием;
- 2) свободное высказывание без обсуждения и голосования;
- 3) закрытое обсуждение с последующим закрытым голосованием или заполнением анкет экспертного опроса.

Опыт показал, что традиционные методы обсуждения вопросов, поставленных перед группой экспертов, относящихся к первому типу экспертных опросов, не всегда обеспечивают эффективное достижение цели – достоверность полученных оценок.

Эти методы страдают рядом недостатков, таких как влияние авторитетных и «напористых» участников на суждения остальных и нежелание участников обсуждения отказываться от точек зрения, ранее высказанных публично.

Поэтому на практике при подготовке решений по проблемам анализа и оценки риска все большее распространение находят второй и третий типы групповых экспертных оценок.

Второй тип групповых экспертных оценок предусматривает отсутствие любого вида критики, препятствующей формулировке идей, свободную интерпретацию идей в рамках поставленной проблемы.

Такой метод обсуждения получил название метода коллективной генерации идей (по американской терминологии – метод «мозговой атаки»).

Он направлен на получение большого количества идей, в том числе и от лиц, которые, обладая достаточно высокой степенью эрудиции, обычно воздерживаются от высказываний. Процесс выдвижения идей протекает в определенном смысле лавинообразно: высказываемая одним из членов группы идея порождает творческую реакцию у других.

Исследование эффективности метода коллективной генерации идей показало, что групповое мышление производит на 70 % больше ценных новых идей, чем сумма индивидуальных мышлений.

С помощью этого метода может успешно решаться ряд задач управления риском: выявление источников и причин риска, установление всех возможных рисков, а также выбор направлений и путей снижения риска.

При использовании результатов групповых экспертных процедур, осуществляемых посредством открытого обсуждения поставленных проблем, следует учитывать такое явление, как «сдвиг риска». Феномен сдвига риска означает, что после проведения открытой групповой дискуссии возрастает уровень рискованности принимаемых решений.

В настоящее время наиболее распространенным объяснением явления «сдвига риска» является использование гипотезы риска как ценности. Она исходит из идеи, согласно которой люди ценят риск, и в групповой ситуации многие из них стремятся повысить свой статус в группе. По-этому в условиях групповой дискуссии они меняют свои оценки в сторону большего риска с целью создать о себе представление как о людях решительных, способных и

умеющих рисковать. Таким образом, данная гипотеза исходит из того, что сотрудники стремятся рисковать не меньше, чем другие члены коллектива.

Третий тип групповых экспертных оценок – закрытое обсуждение поставленных проблем – позволяет в значительной степени устранить указанные выше недостатки первого и второго типов экспертных процедур [6].

Ниже приведены характеристики существующих методов выявления рисков. Данный список не является полным, что связано с большим разнообразием методов, кроме того, методы могут видоизменяться и комбинироваться с другими.

### Метод Дельфи

Метод Дельфи – многоэтапный метод, предусматривающий первоначальное изолированное вынесение экспертами своих суждений и дальнейшую многократную их корректировку на базе ознакомления каждого эксперта с суждениями других экспертов до тех пор, пока величина разброса оценок не будет находиться в рамках заранее устанавливаемого желаемого интервала варьирования оценок.

Как метод экспертного прогнозирования Дельфи был разработан в 1950-е годы в корпорации RAND (США) и впервые для широкого ознакомления опубликован в работе Т. Гордона и О. Хелмера в 1964 году [10]. Первоначально метод предназначался для повышения согласованности мнений экспертов относительно обобщенной групповой оценки или суждения. Группу экспертов называли «жюри», последовательно проводимые опросы – «турами», опросные документы с дополнительной информацией и аргументацией оценок предыдущего тура – «анкетами».

Проведенные Т. Гордоном и О. Хелмером экспериментальные исследования точности и надежности метода Дельфи и схожести его результатов при повторных опросах давали эмпирические рекомендации по числу туров от двух до четырех. Большее число туров существенно не улучшало согласованность результатов, было психологически затруднительно для экспертов и

затратно для организаторов опроса.

По мере дальнейшего развития экспертного прогнозирования возможности Дельфи расширялись, становились более разнообразными, но сохранялся основной отличительный его признак – многотуровый характер опроса. Дельфи превратился из одного метода в совокупность нескольких его модификаций.

В отличие от традиционных методов экспертной оценки метод Дельфи предполагает полный отказ от коллективных обсуждений. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказаться от публично выраженного мнения, следование за мнением большинства.

Метод представляет собой заочный и анонимный опрос экспертной группы в несколько туров с согласованием мнений экспертов. Многотуровый характер прогнозных экспертных исследований позволяет обеспечить «обратную связь». Эксперты знакомятся с результатами предыдущего тура: общей групповой оценкой, «экстремальными» (особыми) суждениями и их аргументацией. В итоге в каждом последующем туре эксперты работают с обновленной информацией, что позволяет им либо корректировать свое мнение, повышая общую согласованность в группе, либо подтверждать свою прежнюю оценку, имея для этого уже больше оснований.

Такая процедура повторяется несколько раз до достижения приемлемой сходимости совокупности высказанных мнений.

При использовании Дельфи-прогнозирования согласованность мнений и уточнение групповых оценок в каждом последующем туре в значительной степени достигаются за счет общего формата и содержания предыдущего – практически не меняются (или изменяются несущественно) опросные документы (анкеты, вопросники, опросные листы, программы и др.), Экспертные опросы по методу Дельфи характеризуются несколькими особенностями:

– анонимность достигается за счет заочной формы опроса, при которой эксперты никаким образом не влияют на мнения и оценки друг друга, что позволяет им «сохранять лицо» без риска для своей профессиональной репутации;

– использование результатов предыдущего тура опроса расширяет информацию, которой могут воспользоваться эксперты на повторных турах, реализуя тем самым принцип «обратной связи»; кроме того, это позволяет исключить, либо свести к минимуму лоббирование интересов отдельных экспертов или подгрупп;

– статистическая характеристика группового ответа позволяет оценить степень согласованности мнений экспертов всей группы относительно общей групповой оценки, т.е. степень того, насколько полученная групповая оценка отражает все различающиеся (в большей или меньшей степени) мнения опрашиваемых экспертов. Сама по себе аргументация не согласующихся с групповой оценкой мнений представляет интерес для экспертов на повторных турах, заставляя их снова возвращаться к аргументации собственных оценок.

Такую статистическую характеристику обобщенной групповой оценки и степени согласованности (и вариации) оценивают соответственно медианой и величиной интервала между нижним и верхним квартилями. Объектом дополнительного анализа и аргументации становятся те мнения и оценки, которые в межквартильный интервал не попадают (50 % от их общего числа).

Процедуру экспертного опроса по методу Дельфи можно выделить в несколько этапов.

#### *Этап 1. Предопросная подготовка*

В соответствии с процедурой Дельфи-опросов на начальном этапе осуществляется предопросная подготовка, когда определяются конкретные задачи и условия опроса. На этом этапе решаются и важные экспертные задачи – формулируются направления и «темы» дальнейшего технологического развития, которые «переводятся» в «утверждения» для последующего экс-

пертного опроса. Вырабатываются критерии оценки приоритетности исследуемых тем. На этапе предопросной подготовки работают относительно небольшие, 15–20, иногда до 50 человек, экспертные группы.

*Этап 2. Составление опросных листов и формирование экспертных сетей*

На основе результатов работы экспертных групп формируются опросные документы – анкеты (опросные листы), включающие:

1. Необходимые пояснения для экспертов, отражающие:

- цели и условия проводимого опроса;
- процедуру работы с опросными листами;
- критерии оценки их компетентности;
- использование результатов опроса и т.д.

2. Заранее подготовленный список направлений технологического развития (тем), сформулированных в виде некоторых «утверждений».

Список может быть закрытым – с конечным перечнем – или открытым с возможностью его дополнения и изменения. Для каждого технологического направления готовится отдельная анкета, что позволяет эксперту проявить свою компетентность в предпочтительных для него областях.

3. Предлагаемые критерии и шкалы для оценки важности тем, их ранжирование по заранее определенным предпочтениям. Здесь характерна тенденция постепенного перехода от критериев важности (степени влияния) технологических тем преимущественно для научно производственного и экономического развития и их реализуемости.

На пред опросном этапе устанавливаются все организационные формы работы экспертов, исходя из необходимости обеспечения анонимности и удобства их работы. Для этого создается рабочая группа, к которой эксперты смогут обращаться за необходимыми разъяснениями, отрабатываются способы коммуникации (почта, факс, телефон, электронная почта, интерфейс в режиме онлайн), устанавливаются сроки опросов, необходимые ресурсы, готовится компьютерное обеспечение для обработки результатов по турам опроса.

### *Этап 3. Проведение опроса*

Проведение самого опроса в заочной форме требует от экспертов серьезной творческой работы. В перерыве между турами проводится обработка результатов, они оформляются в компактной, доступной, хорошо воспринимаемой экспертами форме в виде структурированных текстов, диаграмм, таблиц, графиков, с акцентами на наиболее спорные, экстремальные, вызывающие затруднение и т.д. моменты оценок.

По мере необходимости перечень тем, критерии и шкалы оценки могут корректироваться. Таким образом, на следующих раундах опроса экспертам предлагаются обновленные опросные листы и информация о результатах предыдущего тура.

При проведении опроса необходимо иметь в виду, что зачастую каждый эксперт оценивает до нескольких десятков «утверждений» (тем) только по одной анкете, а при «размытости» границ между областями и темами эксперты иногда заполняют две и более анкеты. Статистическая репрезентативность общих оценок группы в этом случае должна отслеживаться более четко. Кроме того, одна из основных целей многотуровой экспертизы – повышение согласованности экспертов – может и не быть достигнута, сближение мнений может быть несущественным.

### *Этап 4. Анализ и обработка результатов опроса*

Заключительный этап Дельфи, который проводится по каждому из туров и в целом по опросу. Методика обработки, интерпретация результатов и возможности их графического представления определяются логическим построением вопросов в опросных листах относительно предлагаемых технологических тем, т.е. принятой формулировкой «утверждений» и соответствующей им формой ответов. Практическая реализация метода Дельфи может принимать разнообразные формы в зависимости от целей, условий и параметров проектов, включая такие характеристики, как:

– ожидаемые результаты и предполагаемые направления их использования;

- масштабы охвата обследования;
- наличие необходимых навыков и ресурсов;
- субъект организации процесса и управления им;
- достаточность получаемых данных для достижения целей обследования;
- состав приглашаемых экспертов;
- число тем;
- вопросы, задаваемые экспертам;
- организация обсуждения и распространения результатов (публикации, семинары, презентации, конференции и т.д.).

Метод Дельфи широко применяется для корпоративного управления, решения социальных проблем (развития образования, здравоохранения, разработки политики в области злоупотребления наркотическими веществами и др.), промышленных секторов экономики (стали сплавов, пластмасс и материалов, нанотехнологий), развития информационного общества и многих других областей.

Недостатками метода Дельфи являются:

- значительный расход времени на проведение экспертизы, связанный с большим количеством последовательных повторений оценок;
- необходимость неоднократного пересмотра экспертом своих ответов, вызывающая у него отрицательную реакцию, что сказывается на результатах экспертизы.

#### Мозговой штурм

Концепция получила широкое распространение с начала 50-х годов как метод тренировки мышления, нацеленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления. Методы этого типа известны также под названиями «мозговой штурм», «конференция идей», «коллективная генерация идей».

Целью мозгового штурма является создание подробного списка рисков для процесса или объекта. Список рисков разрабатывается на собрании, в котором принимает участие 10–15 человек – часто совместно с участием экс-

пертов из разных областей.

Обычно при проведении мозгового штурма стараются выполнять определенные правила, суть которых:

- обеспечивать как можно большую свободу мышления участников и высказывания ими новых идей;
- приветствовать любые идеи, даже если вначале они кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценка идей производятся позднее);
- не допускать критики любой идеи, не объявлять ее ложной и не прекращать обсуждение;
- желательно высказывать как можно больше идей, особенно не-тривиальных.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают прямую «мозговую атаку», метод обмена мнениями и другие виды коллективного обсуждения идей и вариантов принятия решений.

В последнее время стараются ввести правила, помогающие сформировать некоторую систему идей, т.е. предлагается, например, считать наиболее ценными те из них, которые связаны с ранее высказанными и представляют собой их развитие и обобщение. Участникам не разрешается зачитывать списки предложений, которые они подготовили заранее. В то же время, чтобы предварительно нацелить участника на обсуждаемый вопрос, при организации сессий «коллективной генерации идей» заранее или перед началом сессии участникам представляется некоторая предварительная информация об обсуждаемой проблеме в письменной или устной форме. Подобием таких сессий можно считать разного рода совещания, заседания научных советов по проблемам, заседания специально создаваемых временных комиссий и другие собрания компетентных специалистов.

### Чек-листы

Для идентификации рисков часто используются чек-листы, которые представляют собой заранее разработанные (на основании прошлого опыта,

предыдущей оценки) списки рисков или источников опасности. Данный список оформляется в виде анкеты, и проводится опрос среди сотрудников предприятия или экспертов в этой области.

Основная цель составления чек-листа – учесть все возможные риски, которые могут возникнуть, и подсказать опрашиваемым области для выявления рисков.

Заполняя чек-лист, эксперт может отметить галочкой все возможные риски, характерные для данного процесса, а может более подробно их сформулировать применительно к рассматриваемому объекту или процессу.

#### □ SWOT – анализ

Представляет собой анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз. Цель проведения анализа – оценить потенциал и окружение. Потенциал процесса, объекта или проекта, выраженный в виде его сильных и слабых сторон, позволяет оценить разрывы между содержанием и возможностями. Оценка окружения (внешней среды) показывает, какие благоприятные возможности предоставляет и какими опасностями угрожает внешняя среда.

#### Предварительный анализ опасностей

Представляет собой индуктивный метод анализа, задачей которого является идентификация опасностей, опасных ситуаций и событий, которые могут причинить вред данной деятельности, объекту или системе. Чаще всего его принято проводить на ранней стадии разработка проекта, когда мало информации по деталям конструкции и рабочим процедурам, и зачастую он может быть предшественником последующих исследований. Кроме того, данный метод может оказаться полезным в тех случаях, когда анализируются существующие системы или устанавливаются приоритеты опасностей.

При проведении предварительного анализа опасностей, или рисков,

вырабатывается перечень опасностей и опасных ситуаций общего характера посредством рассмотрения следующих характеристик:

а) используемые или производимые материалы и их способность вступать в реакцию;

б) применяемое оборудование;

в) условия окружающей среды;

г) схема расположения;

д) области контакта и взаимодействия между компонентами системы и т.д.

Реализация данного метода завершается определением возможностей аварии, качественной оценкой величины возможного вреда или ущерба здоровью, который мог быть нанесен, и идентификацией возможных исправительных мер. Метод должен корректироваться на стадиях проектирования, изготовления и испытания для обнаружения новых опасностей, внесения поправок и его совершенствования. Полученные результаты могут быть представлены различными способами, например в виде таблиц и «деревьев» [3].

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – «Анализ характера и последствий отказов» (часто его также называют «Анализ потенциальных несоответствий и их последствий») появился в США в середине 60-х годов и был использован впервые при разработке проекта космического корабля «Аполлон», а затем в медицине и ядерной технике.

В 80-е годы метод получил дальнейшее развитие под названием FMEA и нашел применение также в автомобильной и других отраслях промышленного производства США, а затем в Европе и Японии. В некоторых областях промышленного производства метод стал основой обеспечения качества. В ФРГ метод нормирован стандартом ДИН 25448.

Данный метод – один из наиболее эффективных методов аналитической оценки результатов конструкторской деятельности, процессов (в том числе и испытаний) на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее создание и подготовка к производству. Важнейшей задачей этого метода является прогнозирование дефектов и предупреждение их

появления на этапе создания новой техники на основе теории проб и ошибок.

FMEA представляет собой метод, при помощи которого систематически идентифицируются последствия каждого отдельного компонента аварийных состояний. Это индуктивный метод, который основан на вопросе «что случится, если...» Непременной отличительной чертой в любом FMEA является рассмотрение каждого основного компонента/части системы на предмет того, каким образом он достигает аварийного состояния и как это влияет на аварийное состояние системы.

Как правило, анализ является описательным и организуется в форме составления таблицы или рабочего листа, предназначенного для информации. FMEA, безусловно, относится к аварийным состояниям компонента системы, причинным факторам и воздействиям этого состояния на систему в целом и представляет их в удобной форме.

Наиболее часто метод FMEA применяют:

- при разработке новых изделий;
- разработке новых материалов и методов;
- изменении продукции, процесса или операции;
- новых условиях применения существующей продукции;
- недостаточных возможностях технологического процесса;
- ограниченных возможностях контроля;
- ограниченных возможностях контроля;
- использовании новых установок, машин или инструментов;
- высокой доле брака;
- возникновении риска загрязнения окружающей среды, нарушении норм техники безопасности;
- существенных изменениях организации работы.

На этапе создания процессов методом FMEA решаются задачи:

- принятие решений о пригодности альтернативных процессов и оборудования при предварительном планировании и определении лучших из них;

- обнаружение «слабых» мест и принятие мер по их устранению при планировании производства;

- подготовка серийного производства;

- исправление процессов серийного производства, которые оказываются нестабильными или неспособными.

Этот метод определяет технический уровень продукции с точки зрения предотвращения ошибок, т.е. выявления потенциальных ошибок и оценки тяжести последствий для заказчика (внешней стороны), а также устранение ошибок или уменьшение степени их влияния на качество. Анализ конструкции основан на теоретических знаниях и информации о прошлом опыте. Анализ проходит параллельно самому процессу разработки, придает ему документированную форму и обобщает все поиски и рассуждения в процессе разработки. Снижение риска появления ошибок, которые вызывают неудовлетворенность потребителя и потерю у него интереса к продукции, является важнейшим элементом для сохранения конкурентоспособности.

При конструировании методом FMEA решаются следующие задачи:

- получение сведений о риске альтернативных вариантов;

- определение «слабых» мест конструкций и нахождение мер по их устранению;

- сокращение дорогостоящих экспериментов. FMEA конструкции помогает процессу разработки, понижая риск отказов за счет:

- помощи при объективной оценке требований и альтернатив конструкции;

- помощи в начальной разработке требований для изготовления и сборки;

- повышения вероятности того, что виды потенциальных отказов и их последствия для действия системы и транспортного средства будут рассмотрены в процессе конструирования/разработки;

- предоставления дополнительной информации в помощь при планировании глубокого и эффективного испытания конструкции и программ развития;

– разработки списка видов потенциальных отказов, ранжированных соответственно их влиянию на «потребителя», чем устанавливается система приоритетов для улучшения конструкции и программ испытаний;

– создания открытой формы для рекомендаций и прослеживания действий, снижающих риск;

– обеспечения рекомендаций для будущего, помогающих при анализе совокупности требований, оценивании изменений конструкции и при разработке перспективных конструкций.

Структура FMEA содержит известные элементы методик структурирования, анализа и оценки вместе с перечнем мероприятий и обязательными контрольными нормативами. FMEA представляет собой подход по принципу «снизу вверх» и рассматривает последствия аварийных состояний компонента по принципу «одно за один раз». Этот метод способен переработать достаточное количество данных, прежде чем стать затруднительным для реализации. Кроме того, результаты могут быть легко перепроверены другим человеком, знакомым с системой.

Главными недостатками метода являются избыточность, исключение из рассмотрения восстановительно-ремонтных действий и сосредоточение на авариях единственного компонента.

FMEA может распространяться на выполнение того, что называется «Анализом видов отказов, функционирования и критичности (FMESCA)». При FMESCA каждый выявленный отказ ранжируется в соответствии с вероятностью его возникновения и серьезностью его последствий FMEA и FMESCA обеспечивают вклад в анализ такого рода, как анализ «дерева неисправностей» (анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы). Наряду с применением по отношению к компонентам системы FMEA и FMESCA могут использоваться и по отношению к ошибке человека; они могут использоваться как для идентификации опасности, так и для оценки вероятности.

Данный анализ основан на методе структурированной «мозговой ата-

ки». Группе опытных специалистов, знакомых с анализируемыми процессами, руководителям аналитической группы предлагается задавать вопросы и ставить проблемы, связанные с рассматриваемой конструкцией (например, в химической промышленности это вопросы о блокировках, утечках, коррозии, вибрации, частичных выходах из строя (неполадках), событиях вне предприятия).

FMEA-анализ включает два основных этапа:

1) этап построения компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта анализа (например, моделей построенных с использованием методов IDEF-0);

2) этап исследования моделей, при котором определяются:

– потенциальные дефекты для каждого из элементов компонентной модели объекта; такие дефекты обычно связаны или с отказом функционального элемента (его разрушением, поломкой и т.д.), или с неправильным выполнением элементом его полезных функций (отказом по точности, производительности и т.д.), или с вредными функциями элемента;

в качестве первого шага рекомендуется перепроверка предыдущего FMEA-анализа или анализ проблем, возникших за время гарантийного срока; необходимо также рассматривать потенциальные дефекты, которые могут возникнуть при транспортировке, хранении, а также при изменении внешних условий (влажность, давление, температура);

– потенциальные причины дефектов; для их выявления могут быть использованы диаграммы Ишикавы, которые строятся для каждой из функций объекта, связанных с появлением дефектов;

– потенциальные последствия дефектов для потребителя; поскольку каждый из рассматриваемых дефектов может вызвать цепочку отказов в объекте, при анализе последствий используются структурная и потоковая модели объекта;

– возможности контроля появления дефектов; определяется, может ли дефект быть выявленным до наступления последствий в результате предусмотренных в объекте мер по контролю, диагностике, самодиагностике и др.;

– параметр тяжести последствий для потребителя  $S$ ; это экспертная оценка, проставляемая обычно по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется для случаев, когда последствия дефекта влекут юридическую ответственность.

– параметр частоты возникновения дефекта  $O$ ; это – также экспертная оценка, проставляемая по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется, когда оценка частоты возникновения составляет  $\frac{1}{4}$  и выше;

– параметр вероятности не обнаружения дефекта  $D$ ; как и предыдущие параметры, он является 10-балльной экспертной оценкой; наивысший балл проставляется для «скрытых» дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий

– параметр риска потребителя  $RPZ$ ; он определяется как произведение  $S \times O \times D$ ; этот параметр показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов; дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска (ПЧР больше либо равно 100...120) подлежат устранению в первую очередь.

Результаты анализа заносятся в специальную таблицу.

Выявленные «узкие места» – компоненты объекта, для которых  $RPZ$  будет больше 100...120, – подвергаются изменениям, т.е. разрабатываются корректировочные мероприятия.

При составлении перечня корректировочных мероприятий «направления воздействия» рекомендуется рассматривать в следующей последовательности:

– исключить причину возникновения дефекта; при помощи изменения конструкции или процесса уменьшить возможность возникновения дефекта (уменьшается параметр  $O$ );

– воспрепятствовать возникновению дефекта; при помощи статистического регулирования помешать возникновению дефекта (уменьшается параметр  $O$ );

– снизить влияние дефекта. Снизить влияние проявления дефекта на

заказчика или последующий процесс с учетом изменения сроков и затрат (уменьшается параметр  $S$ );

– облегчить и повысить достоверность выявления дефекта; облегчить выявление дефекта и последующий ремонт (уменьшается параметр  $D$ ).

По степени влияния на повышение качества процесса или изделия корректировочные мероприятия располагаются следующим образом:

- изменение структуры объекта (конструкции, схемы и т.д.);
- изменение процесса функционирования объекта (последовательности операций и переходов, их содержания и др.);
- улучшение системы качества.

Часто разработанные мероприятия заносятся в последующую графу таблицы FMEA-анализа. Затем пересчитывается потенциальный риск RPZ после проведения корректировочных мероприятий. Если не удалось его снизить до приемлемых пределов (малого риска  $RPZ < 40$  или среднего риска  $RPZ < 100$ ), разрабатываются дополнительные корректировочные мероприятия и повторяются предыдущие шаги.

По результатам анализа для разработанных корректировочных мероприятий составляется план их внедрения. Определяется:

- в какой временной последовательности следует внедрять эти мероприятия и сколько времени проведение каждого мероприятия потребует, через сколько времени после начала его проведения проявится запланированный эффект;
- кто будет отвечать за проведение каждого из этих мероприятий и кто будет конкретным его исполнителем;
- где (в каком структурном подразделении организации) они должны быть проведены;
- из какого источника будет производиться финансирование проведения мероприятия (статья бюджета предприятия, другие источники).

Процедуру FMEA-конструкции следует инициировать до (или при) завершении концепции разработки, непрерывно обновлять при возникновении

изменений или получении дополнительной информации на различных стадиях разработки продукции и в основном закончить до выпуска производственных чертежей и оснастки.

#### Изучение опасностей и работоспособности системы (HAZOP)

HAZOP является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA). Исследования HAZOP первоначально были разработаны для химической промышленности. Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе

их функционирования. Данную форму анализа применяют для идентификации слабых мест (существующих или предполагаемых) в системах, включая поток материалов, людей, данных, событий, действий в запланированной последовательности или в процедурах, управляющих такой последовательностью; для исследования опасности и потенциальных проблем, связанных с различными режимами эксплуатации данной системы (например, запуск, резервирование, нормальная эксплуатация, нормальное завершение, чрезвычайное завершение); для неустановившихся процессов и последовательностей, а также для непрерывных процессов. Во многих случаях этот метод используют, чтобы проанализировать проблемы, которые мешают предприятию достичь оптимальных объемов производства или же получить качественную продукцию в соответствии с требованиями стандарта ISO 9000.

В процедурах этого метода обычно участвуют компетентные специалисты из разных областей (физики, химики, механики и др.). Эффективность применения этого метода в большой степени зависит от компетенции и опыта команды оценщиков (рабочей группы). В ходе анализа рабочая группа методично просматривает проектную и техническую документацию, применяя типовые обозначения («управляющие слова»). После обнаружения проблемы рабочая группа определяет причины найденной проблемы и возможные по-

следствия.

Основными задачами метода являются:

а) составление полного описания объекта или процесса, включая предполагаемые состояния конструкции;

б) систематическая проверка каждой части объекта или процесса с целью обнаружения путей возникновения отклонений от проектного замысла;

в) принятие решения о возможности возникновения опасностей или проблем, связанных с данными отклонениями.

Принципы исследований HAZOP могут применяться по отношению к техническим объектам в процессе их функционирования либо на различных стадиях проектирования. Исследование HAZOP, осуществляемое во время начальной стадии проектирования, может выполнять руководитель проекта.

Наиболее распространенная форма исследования HAZOP осуществляется на стадии рабочего проекта и носит название исследования HAZOP II.

Исследование HAZOP II предусматривает следующие этапы

□ *Этап 1* – определение целей, задач и области применения исследования, например выделение опасности, характеризующейся только нелокальными последствиями или только локальными последствиями, участков промышленного объекта, подлежащих рассмотрению, и т.д.

□ *Этап 2* – комплектование группы по исследованию HAZOP.

Данная группа должна состоять из проектировщиков и операторов, обладающих достаточной компетентностью для оценки последствий отклонений от условий функционирования системы.

□ *Этап 3* – сбор необходимой документации, чертежей и описаний технологического процесса. Сюда входят графики последовательности технологических операций; чертежи трубопроводов и измерительного оборудования; технические условия на оборудование, трубопроводы и измерительную аппаратуру; логические диаграммы управления технологическим про-

цессом; проектные схемы; методики эксплуатации и технического обслуживания; методики реагирования на чрезвычайные ситуации и т.д.

□ *Этап 4* – анализ каждой основной единицы оборудования и всего вспомогательного оборудования, трубопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры с использованием документов, собранных на этапе 3.

В первую очередь определяется цель проектирования технологического процесса, затем применительно к каждой линии и единице оборудования по отношению к таким переменным процесса, как температура, давление, расход, уровень и химический состав, применяются слова-указатели. (Данные слова-указатели стимулируют индивидуальное мышление и побуждают к коллективному обсуждению).

□ *Этап 5* – документальное подтверждение любого отклонения от нормы и соответствующих состояний. Кроме того, осуществляется выявление способов обнаружения и/или предупреждения отклонения. Данное документальное подтверждение обычно указывается на рабочих листах HAZOP.

Исследование HAZOP может выделить отклонения, для которых необходима разработка смягчающих мер. В тех случаях, когда смягчающие меры не очевидны или очень дороги, результаты исследования HAZOP дают возможность идентифицировать иницирующие события, необходимые для дальнейшего анализа риска.

Преимуществом рассматриваемого метода является тот факт, что возможные риски выявляются очень детально, при условии, что исследование проводят компетентные специалисты. Метод также позволяет подробно проанализировать отдельные части и элементы сложной системы.

Основной недостаток метода заключается в значительных затратах временных и кадровых ресурсов и, как следствие, его высокая стоимость. Одним из недостатков данного метода является необходимость создания более упрощенной схемы процесса или оборудования, при этом могут быть исключены некоторые аспекты риска.

### *Пример применения HAZOP*

В химическом технологическом процессе происходит подача гелия по трубам. Метод HAZOP позволяет оценить все возможные происшествия, которые могут произойти, если:

- скорость потока гелия слишком большая или слишком малая;
- гелий подается в неправильном направлении;
- по трубам подается другой газ или жидкость;
- в поток гелия попадают другие вещества (газ, другие примеси);
- гелий слишком нагрет или охлажден;
- давление в системе слишком большое или малое.

Пример типовых обозначений («управляющих слов») для химических процессов, таких как поток, давление, температура и операции, которые обеспечивают пуск, остановку.

- Анализ критичности

Анализ критичности представляет собой методику, включающую в рассмотрение не только отказы технических элементов оборудования, но и ошибки человека-оператора. Методика анализа критичности устанавливает несколько категорий отказов по степени значимости возможных последствий. Категории критичности могут иметь различную шкалу для всевозможных различных видов отказов. Например, существует 4 категории критичности:

- категория 1: отказ, потенциально приводящий к жертвам;
- категория 2: отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи;
- категория 3: отказ, приводящий к задержкам или потере работоспособности;
- категория 4: отказ, приводящий к дополнительному незапланированному обслуживанию.

Может быть и более подробная классификация критичности, на пример по 10-балльной шкале:

- оценки 1–2 баллов соответствуют фактическому отсутствию опасности;
- оценки 3–5 баллов соответствуют незначительной вероятности легких травм (при этих показателях травмы с тяжелыми или смертельными исходами исключены);
- оценки 6–8 баллов соответствуют незначительной вероятности риска, при которой велика вероятность тяжелых травм (переломы, ампутация и т.п.);
- оценки 9–10 баллов характеризуют катастрофическое положение дел, значительна вероятность наступления аварий, катастроф, связанных с гибелью людей).

Методика анализа критичности проводится в виде составления таблиц, где последовательно описываются элементы системы, виды отказов, причины отказов, возможные последствия, вероятность проявления, степень критичности (в баллах или категориях) и заканчивается в формулировке возможных действий по предупреждению как данного отказа, так и последствий.

В этом методе в графу причин отказов включаются как технические, так и ошибки человека-оператора. Данный метод анализа позволяет очень подробно анализировать последовательно все элементы по потенциальным отказам, но анализ достаточно трудоемкий. Результатом подобного анализа является установление элемента или части системы, требующей особого внимания в эксплуатации, повышения надежности и безотказности, ужесточения норм контроля, или введение специальных требований и правил безопасности.

Однако, несмотря на достаточную подробность в выявлении отказов и возможных причин, этот метод не дает возможность увязать отказы в единую логическую цепь и не позволяет установить количественной меры вероятности общего риска и его возможных последствий.

#### Реестр рисков

Полученная из разных источников информация о выявленных рисках собирается в единый реестр и структурируется определенным образом (как правило, в табличном виде), позволяющим их наглядно представлять и сравнивать.

Единой рекомендованной формы реестра нет. Однако в большинстве случаев в нем присутствуют поля, определяющие для каждого риска:

- категорию риска по разным критериям классификации;
- виды ресурсов, подверженных воздействию данного риска;
- перечень факторов, влияющих на вероятность и тяжесть реализации риска (факторы риска);
- сотрудников или подразделения, ответственных за работу с данным риском.

Данная информация регистрируется в реестре в процессе идентификации. Кроме того, в реестре предусмотрены поля, которые заполняются в процессе дальнейшей работы, в частности при оценивании и обработке рисков. Они определяют:

- вероятность наступления риска;
- тяжесть последствий;
- возможные меры регулирования и финансирования данного риска;
- способы контроля уровня риска и эффективности управления им.

Излишне детализированная информация требует больших трудовых затрат на ее сбор и регистрацию, она может плохо поддаваться формализации и обработке. В то же время поверхностное описание не позволяет выявлять аспекты риска. Задачей риск-менеджера является выбор такой структуры и формата заполнения реестра рисков, которые наиболее адекватно соответствуют целям системы управления рисками и имеющимся трудовым и информационным ресурсам организации.

## 4.2. Моделирование и анализ моделей процессов с целью выявления источников риска

### 4.2.1. Общие принципы моделирования

Важное место в исследовании процессов и идентификации существующих рисков занимает моделирование, так как полученные при моделирова-

нии результаты являются основой для последующего системного анализа условий проявления техногенных происшествий (рисков) и системного синтеза мероприятий по их предупреждению и/или снижению возможного ущерба.

Модель – такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе изучения замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые его важные для данного исследователя типичные черты. *Моделированием* называют процесс построения и использования модели.

Все модели и методы моделирования с определенной условностью могут быть разделены на следующие наиболее общие классы: *материальные*, или реально существующие (лабораторные установки, макеты автомашин, зданий), и *идеальные*, или мысленно воображаемые (описание или представление любых явлений, процессов и предметов с помощью графических и математических символов и слов).

Важной особенностью всех моделей служит их относительная неполнота, что связано с тем, что при моделировании исследователь всегда исходит из вполне определенной цели, учитывая только наиболее существенные для ее достижения факторы. Поэтому любая созданная модель не всегда тождественна оригиналу: для сравнительно простых объектов она может быть совершеннее оригинала, тогда как для сложных объектов она всегда значительно проще его.

К другим важным характеристикам моделей следует отнести то, что называют адекватностью, а также степень их сложности и предсказательности (или потенциальности). Если результаты использования модели удовлетворяют цели, т.е. могут быть пригодными, например, для прогнозирования поведения или свойств оригинала, то говорят, что модель адекватна реальности. Однако, учитывая заложенную при создании неполноту модели, можно утверждать, что идеально адекватная сложному объекту модель принципиально невозможна.

Что касается сложности (или простоты) модели, то из двух моделей,

позволяющих достичь желаемой цели, предпочтение должно быть отдано более простой. При этом адекватность и простота модели далеко не всегда представляют собой противоречивые требования. Следовательно, для сложного объекта можно создать множество разных моделей, отличающихся по степени полноты, адекватности и сложности.

Наконец, под предсказательностью модели обычно понимают ее пригодность для получения новых знаний об объекте-оригинале. Обоснованно считается, что хорошая модель содержит в себе потенциальное знание, которое человек, исследуя ее, может приобрести, сделать доступным для других и использовать в практических целях. Именно свойство потенциальности модели позволяет ей выступать в качестве самостоятельного объекта исследования.

- Материальное моделирование

Материальные модели основаны на использовании свойства подобия между ними и какими-либо объектами-оригиналами.

1. Методы *физического* (натурного, предметного) моделирования нашли самое широкое применение в авиа-, автомобиле-, ракето- и судостроении, а также в других отраслях промышленности и транспорта. Например, при разработке нового летательного аппарата большое значение имеют эксперименты с натурными образцами или моделями в аэродинамической трубе. Исследование полученных там результатов их обтекания воздушным потоком позволяет найти наиболее рациональные формы корпуса самолета либо ракеты и всех их выступающих частей.

2. В основу *аналогового* моделирования положено совпадение (преимущественно – качественное) математического описания различных предметов, процессов и явлений. Характерным примером аналоговых моделей служат механические и электрические колебания, которые подчинены одним и тем же законам, т.е. описываются одинаковыми аналитическими формулами, но относятся к качественно различным физическим процессам.

- Идеальное (воображаемое) моделирование

Под *интуитивным* обычно подразумевают моделирование, использующее не обоснованное с позиций формальной логики представление объекта исследования, которое к тому же не поддается формализации или не нуждается в ней. Такое моделирование осуществляется в сознании человека в форме мысленных экспериментов, сценариев и игровых ситуаций с целью его подготовки к предстоящим практическим действиям за счет заблаговременной преднастройки к ним.

В отличие от интуитивного *семантическое* (смысловое) моделирование логически обосновано с помощью некоторого числа исходных предположений. Сами эти предположения нередко принимают форму гипотез, создаваемых на основе наблюдения за объектом моделирования или какими-либо его аналогами. Главное отличие этого вида моделирования от предыдущего заключается не только в умении выполнять и воспроизводить для других его действия, но и в знании внутренних механизмов, которые используются при этом.

При этом первый тип моделей образуется с помощью слов, из которых составляются высказывания, суждения и умозаключения относительно моделируемого объекта. При графическом моделировании уже используются материальные носители информации – бумага, классная доска или монитор компьютера, на которых размещаются различные рисунки, чертежи, структурно-функциональные схемы или диаграммы причинно-следственных связей.

В отличие от смыслового *семиотическое*, или знаковое, моделирование является наиболее формализованным, поскольку использует не только общеизвестные слова или довольно наглядные изображения (как в семантических моделях), но и разного рода символы – буквы, иероглифы, нотные знаки, цифры. Более того, в последующем все они объединяются с помощью специфических правил, по которым принято оперировать как отдельными элементами, так и создаваемыми из них знаковыми образованиями.

Основным и наиболее представительным подвидом данного моделирования считается математическое моделирование. Далее под математическим моделированием будет подразумеваться идеальное знаковое формальное мо-

делирование, при котором описание объекта-оригинала осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов.

В зависимости же от способа исследования все математические модели принято делить на аналитические и алгоритмические. *Аналитическое* моделирование позволяет получить выходные результаты в виде конкретных аналитических выражений, использующих счетное число арифметических операций и переходов к пределу по натуральным числам. При этом частными случаями соответствующих моделей являются все корректные алгебраические выражения, а также та их часть, которая имеет умышленно ограниченное число параметров и применяется для получения приближенных результатов.

В отличие от аналитических *алгоритмические* модели могут учитывать практически любое число существенных факторов, а потому используются для моделирования наиболее сложных объектов и чаще всего с помощью мощных и быстродействующих компьютеров. Однако в большинстве подобных случаев алгоритмические модели позволяют получать лишь приближенные результаты, используя метод численного или имитационного моделирования.

Рассмотренная классификация не является всеобъемлющей и универсальной. Существуют классификации по типу входных и выходных параметров (постоянные величины или функции, скаляры или векторы, четкие или нечеткие подмножества); по времени (статическое, динамическое); по размерности пространства (одномерная, многомерная); в зависимости от цели моделирования или предназначения математических моделей (дескриптивные, нормативные и ситуационные) [8].

Разные типы моделей могут использоваться совместно и должны органично дополнять друг друга, поскольку имеют вполне конкретные области предпочтительного применения.

### 3.2.2. Проверка адекватности модели

В процессе работы модель выступает в роли относительно самостоя-

тельного объекта, позволяющего получить при исследовании некоторые знания о самом объекте. Если результаты такого исследования (моделирования) подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Проверка может производиться путем сравнения показателей, полученных на модели, с реальными, а также путем экспертного анализа. Желательно проведение такого анализа независимым экспертом. Если по результатам проверки адекватности выявляются недопустимые расхождения между системой и ее моделью, в модель вносят необходимые изменения.

Под *адекватностью* понимают степень соответствия модели реальному явлению или объекту, для описания которого она строится.

Вместе с тем создаваемая модель направлена, как правило, на исследование определенных свойств этого объекта. Поэтому можно считать, что адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования. Особенно это утверждение справедливо относительно моделей проектируемых систем (когда реальная система еще не существует).

Тем не менее во многих случаях полезно иметь формальное подтверждение (или обоснование) адекватности разработанной модели.

Один из наиболее распространенных способов такого обоснования – использование методов математической статистики. Суть этих методов заключается в проверке выдвинутой гипотезы (в данном случае – об адекватности модели) на основе некоторых статистических критериев.

Процедура оценки основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на модели и может проводиться различными способами. Наиболее распространенные из них:

- по средним значениям откликов модели и системы;
- по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения от-

кликов системы;

– по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов системы.

Названные способы оценки достаточно близки по сути, поэтому рассмотрим первый из них. При этом способе проверяется гипотеза о близости среднего значения наблюдаемой переменной  $X$  среднему значению отклика реальной системы  $X^*$ .

В результате  $n$  опытов на реальной системе получают множество значений (выборку)  $X^*$ . Выполнив  $n$  экспериментов на модели, также получают множество значений наблюдаемой переменной  $X$ .

Затем вычисляются оценки математического ожидания и дисперсии откликов модели и системы, после чего выдвигается гипотеза о близости средних значений величин  $X^*$  и  $X$  (в статистическом смысле). Основой для проверки гипотезы является  $t$ -статистика (распределение Стьюдента). Ее значение, вычисленное по результатам испытаний, сравнивается с критическим значением  $t_{KP}$ , взятым из справочной таблицы. Если выполняется неравенство  $tn < t_{KP}$ , то гипотеза принимается.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что статистические методы применимы только в том случае, если оценивается адекватность модели существующей системе. На проектируемой системе провести измерения, естественно, не представляется возможным.

#### 4.2.3. Моделирование систем и процессов для идентификации рисков

Моделированию принадлежит особое место при проведении теоретического системного анализа процессов техносферы и связанных с ними рисков. Это объясняется в первую очередь неприемлемостью по этическим и экономическим соображениям экспериментального изучения тех аспектов, которые касаются жизни и здоровья людей, ущерба материальным

ценностям и природным ресурсам. В данных условиях только моделирование позволяет оценить возможности возникновения и предупреждения техногенных рисков и величину ущерба, компенсировать дефицит в соответствующих статистических данных.

Важным условием теоретического системного анализа опасных техносферных процессов является выявление объективных закономерностей возникновения техногенных происшествий и априорная оценка соответствующего риска. Подобный прогноз предполагает разработку моделей, пригодных для количественной оценки:

- а) вероятности появления конкретных происшествий (рисков);
- б) величины соответствующего ущерба от них людским, материальным и природным ресурсам.

#### Функциональное моделирование

В каждом из случаев для идентификации исчерпывающего списка рисков или его источников удобно использовать хорошо структурированный процесс, поэтому представляется достаточно логичным и перспективным использование инструмента, который применяется при описании процессов.

Одним из распространенных подходов при описании процессов является принцип декомпозиции, который используется при разбиении сложного процесса на составляющие его функции.

При декомпозиции процесса может применяться методология функционального моделирования EDF0, которая позволяет эффективно представить и проанализировать любую деятельность предприятия.

Основной концептуальный принцип методологии IDEF – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе.

В IDEF0 все, что происходит в системе и ее элементах, принято называть функциями. Каждой функции ставится в соответствие блок. На IDEF0-диаграмме – основном документе при анализе и проектировании си-

стем – блок представляет собой прямоугольник. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, обозначаются стрелками, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описываемая блоком, осуществилась.

Левая сторона блока предназначена для входов, верхняя – для управления, правая – для выходов, нижняя – для механизмов. Такое обозначение отражает определенные системные принципы: входы преобразуются в выходы, управление ограничивает или предписывает условия выполнения преобразований, механизмы показывают, кто выполняет функцию, что он для этого предпринимает и как выполняется функция.

В процессе декомпозиции функциональный блок, который в контекстной диаграмме отображает систему как единое целое, подвергается детализации на другой диаграмме. Получившаяся диаграмма второго уровня содержит функциональные блоки, отображающие главные подфункции функционального блока контекстной диаграммы, и называется дочерней по отношению к нему (каждый из функциональных блоков, принадлежащих дочерней диаграмме, соответственно называется дочерним блоком). Каждая из подфункций дочерней диаграммы может быть далее детализирована путем аналогичной декомпозиции соответствующего ей функционального блока.

Стандарт EDF0 и его методология подробно описаны в руководящем документе «Методология функционального моделирования EDF0», выпущенном Госстандартом России.

Функциональная модель может быть использована для любого процесса и позволяет более удобно выявлять риски, поскольку в данном случае рассматривается каждый отдельный блок.

#### *Основные этапы построения функциональной модели процесса*

Стандарт IDEF0 содержит набор процедур, позволяющих разрабатывать и согласовывать модель большой группе людей, принадлежащих к раз-

ным областям деятельности моделируемой системы. Обычно процесс разработки является итеративным и состоит из следующих условных этапов:

1. Создание модели группой специалистов, относящихся к различным сферам деятельности предприятия. Построение первоначальной модели является динамическим процессом, в течение которого авторы опрашивают компетентных лиц о структуре различных процессов. На основе имеющихся положений, документов и результатов опросов создается черновик модели. В качестве опрашиваемых экспертов могут выступать начальники соответствующих отделов и цехов, ответственных за эксплуатацию технического оборудования и применение технологических процессов на производственных объектах организации. При построении модели для получения дополнительной информации авторам модели может быть необходима документация с описанием процесса, технологии, оборудования и т.д.

2. Распространение черновика для рассмотрения, согласований и комментариев. На этой стадии происходит обсуждение черновика модели с широким кругом компетентных лиц на предприятии. При этом каждая из диаграмм черновой модели письменно критикуется и комментируется, а затем передается автору. Автор, в свою очередь, также письменно соглашается с критикой или отвергает ее с изложением логики принятия решения и вновь возвращает откорректированный черновик для дальнейшего рассмотрения. Этот цикл продолжается до тех пор, пока авторы и читатели не придут к единому мнению.

3. Официальное утверждение модели. Утверждение согласованной модели происходит руководителем рабочей группы в том случае, если у авторов модели и читателей отсутствуют разногласия по поводу ее адекватности. Окончательная модель представляет собой согласованное представление о предприятии (системе) с заданной точки зрения и для заданной цели.

Перед проведением моделирования необходимо определить цель модели, поскольку цель определяет соответствующие области в исследуемой системе, на которые надо обратить внимание в первую очередь. Необходимый

уровень детализации при декомпозиции определяются задачами и функциями участка, перечнем технологического оборудования на участке, мнением экспертов.

Подготовка к моделированию позволяет максимально облегчить сбор информации. Кроме того, перед построением функциональной модели необходимо четко определить границы исследуемой системы.

Информация для идентификации рисков процесса может быть получена при опросе экспертов, которые достаточно хорошо знают исследуемый процесс и его особенности, а также путем изучения соответствующей документации, касающейся процесса. Такой документацией могут являться:

- действующие технологические регламенты и технологические схемы производственных объектов, графики последовательности технологических операций;
- проектная документация на технологические процессы (чертежи производственного оборудования, трубопроводов, измерительного оборудования и т.д.);
- материалы, содержащие информацию о сырье и материалах;
- паспорта оборудования и эксплуатационные документы на технические устройства, здания и сооружения;
- декларации промышленной безопасности;
- законодательные и нормативные требования в области охраны труда и промышленной безопасности, охраны окружающей среды;
- внутренние нормативные документы предприятия в области охраны труда и промышленной безопасности, охраны природы и нормативы качества;
- отчеты аудитов систем управления качеством, охраной труда и промышленной безопасностью, охраной окружающей среды;
- информация о противоаварийных и противопожарных системах;
- оценка воздействия на окружающую среду;
- материалы расследования несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий за последние пять лет (планы ликвидации аварий, ма-

териалы по профессиональной заболеваемости, материалы по аттестации рабочих мест, протоколы замеров уровней вредных и опасных производственных факторов на рабочих местах, тяжести и напряженности трудового процесса);

- статистические данные по аварийности и надежности технологических систем;

- материалы проверок, проводимых в рамках производственного контроля и государственными надзорными органами, содержащие факты нарушений требований охраны труда и окружающей среды;

- материалы по предшествующей идентификации и оценке рисков;

- информация о субподрядчиках.

При проведении декомпозиции процесса необходимо учитывать деление производства на цеха, участки, распределение ресурсов и оборудования. Также следует принимать во внимание следующие факторы: задачи и функции участка, перечень технологического оборудования на участке, используемые вещества, число фаз производства.

#### Барьерные диаграммы

Цель построения барьерных диаграмм состоит в том, чтобы дать возможность четкого рассмотрения сложной последовательности событий, которые могли бы привести к аварии.

На барьерных диаграммах изображаются последовательности событий, которые могут происходить наиболее часто, или те, которые могут вызвать серьезные последствия. Это позволяет определить «слабые» места, где необходимо установить дополнительные защитные меры (барьеры). Барьерные диаграммы могут быть использованы в качестве основы для определения уровня безопасности технической системы и степени его приемлемости.

Барьерные диаграммы иллюстрируют последовательность возможного развития аварии. На диаграмме показываются ошибки и отклонения, которые могут вызвать аварию. Они сопровождаются изображением альтернативных путей развития аварии и окончательны последствий. На диаграмме также по-

казываются «барьеры», которые предназначены для предотвращения дальнейшего развития неблагоприятных обстоятельств, остановки развития аварии или ограничения ее последствий.

В качестве барьеров могут выступать элементы специальной защиты, или части какого-либо устройства, или оборудование, например предохранительный клапан или система аварийной остановки, которая вступает в действие автоматически при превышении заданных технологических параметров. Барьеры также могут включать в себя предписания или административные инструкции, определяющие действия персонала, такие как проверка оборудования и приборов или запрет на эксплуатацию оборудования в определенных нестандартных условиях. Барьеры могут представлять собой комбинацию «технического обеспечения» и «программного обеспечения», например аварийная сигнализация повышения температурного режима, с последующей реакцией оператора, который, как предполагается, нажимает аварийную кнопку, когда слышит этот аварийный сигнал.

Существуют различные виды барьеров:

- активные/пассивные;
- полные/частичные;
- автоматические/требующие вмешательства персонала.

Если не предполагается детальная оценка барьеров, то более надежные барьеры могут быть заштрихованы черным цветом, а менее надежные – белым. Это позволяет пользователю быстро уловить, где находятся слабые места в той или иной системе.

В зависимости от степени защиты, участия персонала и необходимости активации барьеры могут быть подразделены на полные и частичные.

Полные барьеры – это барьеры, действующие эффективно при всех аварийных ситуациях, для которых они предназначены. Аварийный сигнал и связанную с ним процедуру ручного отключения можно считать полным барьером.

Частичный барьер – это барьер, который может не всегда срабатывать.

Аварийный сигнал, требующий от персонала анализа ситуации и принятия решения об остановке технологического процесса, будет считаться частичным барьером.

Полные барьеры обычно более надежные, чем частичные.

Пассивный барьер – это барьер, который функционирует без необходимости активации. Подсыпка со стороны днища емкости для хранения, достаточная по своим размерам, чтобы удерживать все содержимое емкости и предохранить любые утечки, может считаться пассивным барьером. Пассивные барьеры – обычно полные барьеры.

Активный барьер состоит из двух компонентов: один – для определения ненормальной ситуации, а другой для выполнения действия, которое остановит дальнейшее развитие аварийной ситуации.

В качестве активного барьера может служить устройство измерения давления с аварийной сигнализацией при превышении давления и связанные с этим предписанные процедуры, требующие от персонала предпринять аварийное отключение при появлении аварийной ситуации. Активные барьеры могут быть частичными или полными.

По степени автоматизации систем безопасности на предприятии барьеры можно подразделить на автоматические (распределительный клапан или аварийная система в сочетании с автоматическим отключением) и управляемые персоналом.

Метод Монте-Карло

Методы создания математических моделей объектов и систем, а также имитационных моделей предполагают детерминированные задачи или задачи, решаемые в условиях неопределенности. Во втором случае неопределенные факторы или параметры, входящие в задачу, являются случайными величинами, вероятностные характеристики которых или известны, или могут быть определены из опыта.

В реальных случаях приходится анализировать безопасность сложных объектов и систем, в которых взаимосвязано большое количество элементов

и процессов (машина, агрегаты, организации, люди) и присутствует много случайных факторов, которые взаимно влияют друг на друга. В таких ситуациях единственным методом решения задачи является использование универсального метода статистического моделирования, называемого методом Монте-Карло.

Суть метода моделирования Монте-Карло состоит в том, что вместо того, чтобы пытаться описывать процесс с помощью каких-либо уравнений, которые могут быть чрезвычайно сложными и описывать процесс очень приближенно, производится модельное появление случайного события с помощью специально организованной процедуры.

Процедура предполагает получение случайных чисел, отождествляемых с каким-либо событием. Случайные числа могут быть связаны с вероятностью наступления неблагоприятного события (авария, взрыв, травма, выброс токсичных веществ и др.). По процедуре формирования случайного сигнала (цифры) происходит формирование переменной по ее распределению. Однако реализация, т.е. одно выпадение случайного числа, не может служить характеристикой поведения системы, но при достаточно большом количестве реализаций этот выбор случайных чисел может быть обработан методами математической статистики, что дает вероятностные характеристики состояния и развития исходного объекта.

Анализ рисков с использованием метода имитационного моделирования Монте-Карло представляет собой «воссоединение» методов анализа чувствительности и анализа сценариев на базе теории вероятностей.

Результатом такого комплексного анализа выступает распределение вероятностей возможных результатов.

Для использования метода Монте-Карло необходимо представлять, хотя бы примерно, закон распределения. На практике в большинстве случаев описывают процессы и явления, имеющие нормальный закон распределения. Для получения случайных реализаций или используют готовые таблицы случайных чисел, или создают с помощью ЭВМ, используя генераторы (датчи-

ки) случайных чисел. При других законах распределения (биномиальное, экспоненциальное) вводят специальную программу формирования случайного сигнала по этому закону.

Метод статистического моделирования (метод Монте-Карло) имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства:

- возможность моделирования сложных систем, где действует много взаимодействующих случайных факторов;

- возможность проверки правильности других аналитических моделей;

- не требует серьезных упрощений и допущений, так как в статистическую модель можно заложить любые законы распределения, любой сложности системы.

Недостатки:

- громоздкость и трудоемкость в разработке, потребность в большом количестве расчетов для получения статистически достоверных данных;

- результаты статистического моделирования труднее воспринимать и осмыслить, чем аналитические модели, и, кроме того, значительно труднее решать задачу оптимизации.

При статистических модельных исследованиях и разработке моделей с использованием метода Монте-Карло, на основе имеющейся статистики и предыдущего опыта, предполагается, что закон распределения в определенной мере известен. По этому закону производится генерирование случайных сигналов. Это производится тогда, когда случайные явления обладают статистической устойчивостью, когда при достаточном повторении опытов частота появления случайных события стабилизируется и приближается к ее вероятности. Такие случайные параметры или факторы можно назвать доброкачественной статистической неопределенностью. Примером доброкачественной неопределенности являются отказы различных устройств, разрушение элементов конструкций за счет износа или усталости материалов. Эти примеры находятся в компетенции теории надежности. Но в системах «чело-

век – машина – среда» могут быть неопределенности такого вида, когда мы не можем хоть как-то прогнозировать закон распределения случайных величин. Это могут быть неправильные и ошибочные действия оператора. В данных случаях при разработке моделей необходимо исходить из возможности возникновения наихудшего случая.

## Теория орграфов

Для анализа больших систем используются модели, представляющие собой процесс появления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествий в виде соответствующих диаграмм причинно-следственных связей.

Орграф представляет собой набор вершин, определенные пары которых соединены линиями со стрелками или без стрелок.

Рассмотрим на примере: численность населения города влияет на количество мусора в нем. Мусор, в свою очередь, увеличивает бактериологическую зараженность, которая влияет на заболеваемость в городе, что приводит к изменению заболеваемости и смертности населения.

Орграфы (или диаграммы влияния) используются в настоящее время в различных модификациях, например:

- потоковые графы (графы состояний и переходов);
- ориентированные графы;
- деревья происшествий («отказов»);
- деревья событий, деревья решений;
- функциональные сети различного предназначения и структуры, в том числе стохастической.

Основными компонентами диаграммы влияния служат узлы (вершины) и связи (отношения). В качестве узлов обычно подразумеваются простейшие элементы моделируемых категорий (события, состояния, свойства), а в качестве связей – действия, ресурсы и т.п.

Каждые два соединенных между собой узла образуют ветвь диаграммы. Отношения или связи между переменными или константами в узлах диаграммы представляются в виде дуг или ребер.

Узлы диаграммы характеризуются наборами данных, т.е. множеством выходов (значений, принимаемых переменными). Если диаграмма стохастическая, то дугам или ребрам приписываются вероятности (или распределения вероятностей) появления этих значений.

Диаграммы влияния сравнительно легко комбинируются с другими средствами формализации и моделирования. В последнее время к ним все чаще обращаются для решения задач повышения безопасности с помощью математического моделирования.

Так, с помощью предварительно построенных диаграмм – графов, сетей, деревьев – могут быть получены математические модели аварийности и травматизма.

Взвешенный орграф – взаимодействие вершин в нем отражено только качественно. Для количественного описания модели дугам присваиваются весовые коэффициенты, отражающие степень влияния одной вершины на другую. Орграф, дугам которого присвоены весовые коэффициенты, называется взвешенным орграфом.

В функциональном орграфе дугам ставится в соответствие вместо знака или весового коэффициента функциональная зависимость.

Вероятностный орграф – орграф, имеющий случайные возмущения при взаимодействии вершин (дугам ставится математическое ожидание случайной величины).

Гибридные орграфы. В ряде случаев оказывается целесообразным сочетать взвешенный и функциональный орграфы. Обычно это происходит при недостатке информации или при невозможности экспертов отразить зависимость изменения одного показателя от другого. В этих случаях орграфы имеют дуги, части которых поставлены в соответствие функциональным зависимостям, а части – весовым коэффициентам.

Такие орграфы называют гибридными.

Динамические орграфы. В динамических орграфах значения весов для некоторых (или всех) дуг не остаются постоянными, а зависят от величин показателей в вершинах орграфа, что позволяет повысить гибкость взвешенных орграфов. В этом случае весовой коэффициент дуги  $ij$  может быть записан в виде зависимости от некоторого показателя.

При исследовании реальных систем важен учет времени реализации воздействия одного показателя на другой или времени реакции одного показателя на изменения другого.

Простейший подход, который позволяет учесть временные задержки импульсного процесса, – установка дополнительных промежуточных вершин. Например, если показатель  $j$  реагирует на изменение показателя  $i$  через одну временную единицу.

Недостатком данного подхода является то, что количество вершин орграфа увеличивается, орграф становится громоздким и трудоемкость расчетов увеличивается.

Вершины орграфа составляют сложный контур, который может быть представлен отдельными простыми контурами. Среди них можно выделить контуры, все дуги которых имеют знак «+». При увеличении значения одной из вершин в этом контуре значения всех остальных вершин (а также и этой) будут возрастать. Очевидно, что отклонение в такой контуре будет все время усиливаться.

Контур, усиливающий отклонения, называется контуром положительной обратной связи.

Контур, содержащий одну отрицательную дугу, противодействует росту отклонения, так как рост значения одной из вершин приводит к уменьшению значения других вершин (и этой вершины в том числе).

Контур, противодействующий отклонению, называется контуром отрицательной обратной связи.

Устойчивость орграфов

Вершина называется устойчивой по значению в импульсном процессе, если последовательность значений вершины ограничена.

Взвешенный орграф называется импульсно устойчивым в импульсном процессе, если каждая из его вершин импульсно устойчива. Понятие устойчивости играет важную роль в моделировании. При математической постановке задач с помощью системного подхода прежде всего учитывается, что в данной системе присутствует человек и именно он делает систему устойчивой при каждом импульсном воздействии. Если допущена ошибка (импульсное воздействие), то система становится хуже, но не распадается, поэтому при следующем импульсном воздействии негативные последствия гасятся. Конечно, последовательностью импульсных воздействий возможно сделать систему неустойчивой, но из-за одного импульса этого сделать нельзя.

Для того чтобы добиться нужного поведения модели, необходимо определить круг элементов модели, на которые можно воздействовать, а именно:

- изменить на определенное время значения показателей некоторых вершин орграфа;
- изменить на определенное время знак, весовой коэффициент или функцию определенной дуги или ряда дуг;
- изменить временное запаздывание на одной или нескольких дугах;
- добавить новую дугу в орграф;
- убрать имеющуюся в орграфе дугу (для этого достаточно приравнять к нулю весовой коэффициент при этой дуге);
- создать или убрать контур;
- добавить в определенное время новую вершину и инцидентные ей (т.е. входящие) дуги;
- убрать в определенное время новую вершину и инцидентные ей дуги.

Следует помнить, что за любыми изменениями в орграфе стоит одно или несколько определенных мероприятий. Одно мероприятие может повлечь за собой комплексное изменение в орграфе, поэтому важно

тщательно анализировать все производимые изменения с точки зрения их целесообразности [11, 12].

Главной задачей, определяющей успех при исследовании поведения системы с помощью орграфов, считается построение модели. Прежде всего, необходимо четко и корректно определить цель исследования.

Построение орграфа состоит из следующих этапов:

1. Выделение объекта исследования.
2. Определение контура, определение ее целостности.
3. Обозначение факторов (вершин орграфа), определяющих поведение системы.
4. Установление связей (весовые коэффициенты) между вершинами.

При этом необходимо иметь в виду, что описание самой системы возможно только при наличии описания этой системы как элемента более широкой системы. Именно такое описание системы в виде орграфа позволяет воздействовать на систему и через это воздействие проследить реакцию системы и применить методы управления этой реакцией.

Рассмотрим процесс построения орграфа на примере одного из регионов. Целью исследования будем считать определение социоэколого-экономической перспективы развития региона.

Региональную модель представим в виде двух орграфов: первый описывает взаимодействие крупных блоков региона, второй более детализирован.

#### 4.2.4. Показатели надежности технических систем

Анализ безопасности и оценка риска во многом определяется надежностью технических устройств. Большинство случаев различных аварий, катастроф, взрывов, загораний, приводящих к травматизму и летальным исходам, связаны с отказами устройств, разрушениями элементов, выходами из строя агрегатов. Однако могут быть случаи выхода из строя по вине людей и случаи травматизма при вполне исправной работающей технике.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования

Состояние элементов системы различают в двух позициях: работоспособное и неработоспособное.

Объект (элемент или система) считается работоспособным, если он способен выполнять свои функции и соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Объект считается неработоспособным, если он не выполняет свои функции или по какому-то параметру не соответствует требованиям документации.

Характер перехода работоспособного объекта в неработоспособный может происходить или внезапно, или постепенно. Возникновение любого вида отказа обусловлено накоплением различных изменений внутри объекта. При этом отказы, обусловленные действиями человека, не рассматриваются.

Анализ работоспособности системы с точки зрения влияния отказов отдельных элементов удобно проводить, рассматривая отдельно две системы – простые и сложные. В простых системах отказ любого элемента приводит или к отказу всей системы или вообще не влияет на качество работы всей системы. В простых системах рассматриваются два возможных состояния: работоспособное состояние, оцениваемое некоторым показателем эффективности и состояние отказа с нулевым показателем эффективности. Поэтому в простых системах надежность можно оценивать в виде безотказной работы или сохраняемости – это для невосстанавливаемых систем, а для восстанавливаемых систем – в виде ремонтпригодности и долговечности.

Сложными называются многофункциональные системы с избыточной структурой. Такие системы имеют возможность частичного или полного резервирования отдельных элементов и целых подсистем. Отказ отдельного элемента в такой системе приводит не к отказу всей системы, а только к

ухудшению качества ее работы.

Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Предельное состояние – это состояние, при котором дальнейшая эксплуатация или применение элементов по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление невозможно или нецелесообразно.

Критерием предельного состояния служат совокупность признаков предельного состояния объекта, которые устанавливаются в нормативно-технической и конструкторской документации.

Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение по назначению не допустимо по требованиям безопасности, экономичности или эффективности.

Для ремонтируемых объектов выделяют три вида предельных состояний:

- средний ремонт;
- капитальный ремонт;
- окончательный вывод из эксплуатации.

В общем виде долговечность объектов измеряется техническим ресурсом объекта либо сроком службы и определяется не отказом объекта, а переходом в предельное состояние, что приводит к необходимости проведения ремонта.

Одним из центральных понятий в теории надежности является понятие наработки. Под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта. Нарботка измеряется единицами времени или объемом выполненной работы.

Объект может работать непрерывно (режим работы, когда объект останавливается в случаях отказа или ремонта) или с перерывами (когда объект

останавливается по причинам, которые не связаны с его техническим состоянием). Когда объект работает с перерывами, для него вводится понятие «суммарная наработка».

Для изделий или технических систем вводят понятия:

- наработка до отказа – это наработка объекта от начала его эксплуатации до первого отказа;
- наработка между отказами – это наработка объекта после восстановления его работоспособности (отказа) до возникновения следующего отказа;
- ресурс технический – это наработка объекта от начала его эксплуатации или после ремонта до перехода его в предельное состояние;
- срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации или после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Показатели долговечности:

- средний ресурс;
- назначенный ресурс;
- средний срок службы;
- назначенный срок службы.

Ремонтопригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Свойство ремонтпригодности полностью определяется конструкцией объекта, т.е. свойства ремонтпригодности закладываются на этапах разработки, проектирования, изготовления и монтажа.

Кроме деления на ремонтпригодность, происходит дополнительное деление на восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты.

В технике существуют другие понятия: ремонтируемый и неремонтируемый объект.

Как правило, ремонтируемые объекты являются восстанавливаемыми

на протяжении всего срока службы. А неремонтируемые объекты, как правило, невосстанавливаемыми. В последнее время появились элементы сложных систем, являющиеся неремонтируемыми, но само восстанавливающимися.

Показатели ремонтпригодности:

- вероятность восстановления работоспособности в заданное или за требуемое время;
- среднее время восстановления;
- интенсивность восстановления.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, как в течение, так и после хранения и транспортировки. Сохраняемость характеризуется способностью объекта противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортировки на его безотказность и долговечность.

Срок сохраняемости – продолжительность хранения системы в определенных условиях, в течение которой сохраняются установочные показатели ее качества. Иногда сохраняемость характеризует продолжительность хранения, в течение которой техническая система сохраняет установленные показатели с заданной вероятностью гамма.

Основным показателем сохраняемости является средний срок сохраняемости.

Вероятностные характеристики отдельных свойств надежности являются независимыми. Например, объект может обладать высокими показателями безотказности, но быть плохоремонтируемым.

На практике желательно иметь объекты, обладающие высокими показателями и безотказности, и долговечности, и ремонтпригодности, но осуществить это очень трудно.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Перечислите возможные источники информации для идентификации рисков процессов и систем?

2. Охарактеризуйте индивидуальные и групповые экспертные методы выявления рисков. В чем их преимущества и недостатки?
3. Дайте характеристику метода Дельфи.
4. Мозговой штурм: характеристика, достоинства, недостатки.
5. Дайте характеристику метода SWOT-анализа.
6. Дайте характеристику методов FMEA и HAZOP.
7. Перечислите основные характеристики и особенности, присущие моделям процессов и систем.
8. Что понимают под адекватностью модели? Как проверить модель на адекватность?
9. Функциональное моделирование: цели и возможности метода. Охарактеризуйте метод барьерных диаграмм.
10. Дайте характеристику метода Монте-Карло.
11. Построение моделей с помощью орграфов: характеристика и возможности метода.
12. Перечислите показатели надежности систем. Каким образом они рассчитываются?

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Богоявленский С.Б. Управление риском в социально-экономических системах. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 147 с.
2. Вайсман Я.И., Карманов В.В., Ерхова Н.Е. Экологический менеджмент на промышленных предприятиях: учеб. пособие / Перм. гос.техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 127 с.
3. ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 22 с.
4. Иванов А.А., Олейников С.Я., Бочаров С.А. Риск-менеджмент: учеб.-метод. комплекс. – М.: ЕАОИ, 2008. – 193 с.
5. Кукушкина С.Н. Метод Дельфи в форсайт-проектах // Фор-сайт. – 2007. – № 1 (1).
6. Макеева Д.Р. Оценка риска и страхование: курс лекций. – URL: [http://uamconsult.com/book\\_425.html](http://uamconsult.com/book_425.html).
7. Маюнова Н.В. Основы управления проектами: учеб. курс (учеб.-метод. комплекс) / Моск. ин-т экономики, менеджмента и права. – М., 2010.

8. Муравьева Е.В., Романовский В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты. – Казань, 2007.
9. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения (МЭК 60812: 1985)
10. Методы анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA): принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 7-95 от 26 апреля 1995 г.).
11. Кукушкина С.Н. Метод Дельфи в Форсайт-проектах // Форсайт. – 2007. – №1 (1).
12. Холина В.Н. Основы экономики природопользования: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.
13. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Экономика и экология. Развитие, катастрофы. – М.: Наука, 1996.
14. Понятие адекватности модели и пути подтверждения адекватности. – URL: [http://zxshader.narod2.ru/D7/V64/.](http://zxshader.narod2.ru/D7/V64/)\_\_

## Лекция 5. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Рассматриваемые вопросы:

5.1. Характеристика методов управления рисками

5.2. Оценка эффективности управления рисками

### 5.1. Характеристика методов управления рисками

Существует целый набор разнообразных методов, позволяющих снизить степень риска и величину ущерба. На этапе выбора того или иного метода риск-менеджер рассматривает и анализирует существующие методы управления рисками применительно к конкретной ситуации, решает, как можно снизить риск, потери в случае наступления рискованной ситуации, ищет источники покрытия этого ущерба.

Методы риск-менеджмента достаточно разнообразны. Это связано с неоднозначностью понятия риска и наличием большого числа критериев классификации методов управления рисками.

Во-первых, подходы к управлению рисками можно сгруппировать как методы минимизации негативного влияния неблагоприятных событий следующим образом.

- Уклонение от риска (избежание риска) – это набор мероприятий, приводящих к полному избеганию влияния неблагоприятных последствий рискованной ситуации.

Методы этой группы предполагают исключение рискованных ситуаций из бизнеса.

Руководители, использующие такой подход в своей практике, избегают сделок с ненадежными партнерами, клиентами, стараются сузить круг и тех, и других. От услуг неизвестных или сомнительных фирм они, как правило, отказываются. Кроме этого, такие субъекты отказываются и от инновационных, инвестиционных или иных проектов, если те вызывают хоть малейшую неуверенность в их успешной реализации. К примеру, такой стратегии придерживается банк, выдающий кредиты только под конкретный залог.

- Сокращение (снижение) риска – это действия, приводящие к уменьшению ущерба. В данном случае фирма принимает риски на себя.

- Передача (перенос) риска – это меры, позволяющие переложить ответственность и возмещение возникающего вследствие наступления рискованной ситуации ущерба на другого субъекта.

С другой точки зрения, методы управления рисками можно классифицировать по соотношению времени осуществления управляющих мероприятий и наступления рискованной ситуации.

Передача (трансфер) риска используется как мелкими, так и крупными предприятиями. Причем для первых в качестве гаранта выступают, как правило, крупные компании, а для вторых – органы государственного управления. Такая сделка выгодна как для передающей (трансфер), так и для принимающей стороны (трансфери), благодаря следующим характеристикам подобных сделок:

- потери, которые велики для передающей стороны, могут быть незначительными для стороны принимающей;

- принимающая сторона может обладать лучшими возможностями для сокращения потерь;

- принимающая сторона может находиться в лучшей позиции для контроля хозяйственного риска и предотвращения потерь.

При передаче риска заключается соответствующий контракт.

К наиболее распространенным из них можно отнести следующие типы соглашений:

1. Строительные контракты предполагают передачу всех рисков, связанных с новым строительством, строительной компании. Это могут быть различные сбои при поставках, сложные погодные условия, забастовки и т. д. Несвоевременная сдача объекта, повреждение его конструкции в период строительства влечет за собой соответствующую ответственность одной из сторон. В Гражданском кодексе РФ говорится, что при случайных повреждениях объекта до его сдачи ответственность несет подрядчик. Если такое по-

вреждение произошло вследствие использования недоброкачественных материалов или оборудования, предоставленного заказчиком, то ответственность ложится на заказчика.

2. Аренда – достаточно широко распространенный способ передачи риска. В случае передачи имущества в аренду (либо в финансовую аренду – лизинг) некоторые риски, связанные с этим имуществом, полностью или частично остаются на собственнике. Это может быть риск физического повреждения, риск увеличения налогов на имущество, риск снижения коммерческой ценности объекта и т.д. Путем специальных оговорок арендатору может быть передана большая доля рисков.

Кроме того, Гражданский кодекс РФ предусматривает полную передачу арендатору риска случайной гибели и риска случайной порчи в момент передачи имущества.

При увеличении срока аренды арендодатель обеспечивает себе постоянный доход на этот период, но при этом увеличивается и уровень риска. Например, трудно предсказать, как в течение длительного промежутка времени будет меняться коммерческая ценность объекта. Для снижения риска в этом случае можно привязать арендную плату к объему продаж арендатора. При этом последний выплачивает фиксированный процент от выручки, но не ниже определенной суммы.

3. Контракты на хранение и перевозку грузов обеспечивают передачу транспортной компании рисков, связанных с порчей или гибелью имущества во время его транспортировки. Однако такие риски, как, например, падение рыночной цены продукции из-за транспортной задержки, несет уже само предприятие.

4. Контракты продажи, обслуживания, снабжения также предоставляют фирме широкие возможности передачи рисков. Потребитель товара передает риски, связанные с эксплуатацией или наличием дефектов, продавцу на период действия гарантии. Кроме того, между посредниками и производителем может быть достигнуто соглашение о возврате непроданных товаров. Допол-

нительно к данной группе контрактов можно отнести следующие:

- соглашение о снабжении товаром на условиях поддержания остатка на складе;
- гарантия технического обслуживания и ремонта оборудования при его аренде;
- гарантия поддержания определенных технических характеристик используемого оборудования;
- договоры на сервисное обслуживание техники.

5. Контракт-поручительство позволяет должнику переложить часть риска отсутствия средств для возврата долга на поручителя. В данном соглашении участвуют три стороны: поручитель, принципал и кредитор.

Поручитель дает гарантию того, что долг принципала будет возвращен независимо от успеха или неуспеха деятельности последнего.

Поручителем выступает физическое или юридическое лицо, но чаще всего это организация, которая специализируется на сделках поручительства. Такое поручительство считается наиболее надежным.

Кредитор, в свою очередь, также передает риск не возврата кредита поручителю.

Выгода принципала заключается в том, что он получает кредит, который не мог бы получить без поручительства.

6. Договор факторинга – это финансирование под уступку денежного требования. Он подразумевает передачу кредитного риска. В данном договоре участвуют три стороны: фактор-посредник (банк или иная организация, имеющая лицензию на данный вид деятельности), предприятие-поставщик и предприятие-покупатель. Фактор-посредник покупает у поставщика требования к его клиентам, т.е. дебиторскую задолженность.

Обычно фактор-посредник покупает эти требования в течение нескольких дней, выплачивая 70–80 % требований. Остаток выплачивается после погашения задолженностей.

Выделяют два вида факторинга: открытый и закрытый. При открытом

факторинге указывается, что требования переданы фактор-посреднику. При закрытом факторинге поставщик заключает договор с банком, высылая копии счетов по заключенным сделкам, но покупатели об этом не извещаются. Если покупатель не в состоянии оплатить счета в установленные сроки, то поставщик извещает его об уступке требований.

В стоимость факторинговых услуг входят процентная ставка по кредитам (обычно выше учетной процентной банковской ставки) и комиссионные (обычно 0,5–2 % от суммы требований).

7. Биржевые сделки снижают риск снабжения в условиях инфляционных ожиданий.

Здесь передача риска осуществляется путем:

- приобретения опционов на закупку товаров, цена на которые в будущем увеличится;
- заключения фьючерсных контрактов на закупку растущих в цене товаров.

Опцион – это документ, где поставщик гарантирует продажу товара по фиксированной цене в течение определенного срока. Опцион является ценной бумагой и может продаваться на вторичном рынке в ходе биржевых сделок. Текущая его цена определяется разницей между суммой, указанной в данном документе, и ценой товара на данный момент, а также от инфляционных ожиданий.

Цена товара, указанная в опционе, как правило, отличается от рыночной на момент продажи опциона. Однако рыночная цена товара в момент поставки обычно превышает указанную в опционе.

То, что опцион может перепродаваться, обеспечивает ряд преимуществ для заказчика:

- фирма может приобрести опцион не только у производителя, но и у временных держателей;
- фирма может приобрести опционы на покупку сырья для производства еще не заказанной продукции; если эти заказы так и не поступят, то

фирма сможет продать опцион, избежав таким образом риска неполучения заказа на производимую продукцию.

Другой способ передачи риска через биржевые сделки – использование фьючерсных контрактов. Фьючерс отличается от опциона тем, что:

- заключается между заказчиком и поставщиком с отсрочкой исполнения;
- момент времени исполнения контракта строго фиксирован;
- в контракте может быть предусмотрена «плавающая» цена поставки.

Зарегистрированные на бирже фьючерсы и опционы могут вторично перепродаваться как поставщиком, так и заказчиком. Цена подобных контрактов – самостоятельный предмет биржевой котировки. Фьючерс позволяет, с одной стороны, снизить уровень инфляционного риска и риска снабжения, с другой стороны – он не лишает возможности отказаться от контракта в случае нахождения более выгодных условий поставки.

Фьючерсный контракт может быть заключен не только как основной договор поставки, но и как резервный в дополнение к соглашению, вызывающему у организации определенные сомнения. При реализации основного контракта фирма продает фьючерс. Это подразумевает, что срок фьючерса должен быть больше, чем срок поставки по основному договору.

Данными способами можно также снизить риск сбыта продукции, приобретая опционы и фьючерсы уже на поставку готовой продукции. Следует учесть, что трансфер (передача) риска – не самый безопасный и эффективный способ снижения предпринимательского риска. Принимающая сторона, как правило, не имеет средств для снижения уровня риска. Кроме того, у нее может не хватать средств для покрытия потерь, связанных с передачей риска. Следовательно, при использовании этих методов нужно принимать во внимание следующие моменты:

- распределение рисков между передающей и принимающей сторонами должно быть четким и недвусмысленным;
- принимающая сторона должна иметь возможность быстро выполнить все принятые на себя обязательства;

- принимающая сторона должна иметь полномочия для сокращения и контроля риска;
- решение о передаче риска должно приниматься на базе сравнения с аналогичными по надежности методами;
- риск должен передаваться по цене, одинаково привлекательной как для передающей, так и для принимающей стороны.

Различают следующие виды методов управления рисками:

1. До событийные методы – осуществляемые заблаговременно мероприятия, направленные на изменение существенных параметров риска (вероятность наступления, размеры ущерба). Сюда можно отнести методы трансформации рисков, которые связаны в основном с предотвращением реализации риска. Обычно эти методы ассоциируются с проведением превентивных мероприятий.

2. После событийные методы осуществляются после наступления ущерба и направлены на ликвидацию последствий. Эти методы направлены на формирование финансовых источников, используемых для покрытия ущерба. В основном это методы финансирования риска.

Страхование рисков представляет собой метод управления риском, при котором ответственность за риск переносится на третье лицо. Для этого осуществляется поиск гарантов или страхование предпринимательского риска. Последнее подразумевает отношения по защите имущественных интересов лица при наступлении страхового случая за счет страховых взносов (страховых премий).

Если исключить покрытие потерь из собственных источников организации, то страхование – это наиболее быстрый способ получить возмещение убытков. Однако для данного метода существуют определенные ограничения:

- премия, запрашиваемая страховщиком, может быть слишком высокой;

- некоторые виды рисков могут не приниматься страховщиком к страхованию, например в случае высокой вероятности реализации риска.

Если руководство решает использовать страхование, то необходима разработка комплексной программы защиты, а не единичные обращения в страховую фирму. Структура и состав этой программы сильно зависят от конкретного предприятия и условий, в которых оно функционирует. Тем не менее можно обозначить общие положения страховой программы:

- 1) страхование имущества и имущественных ценностей (зданий, оборудования, складских запасов и т. д.) от несчастных случаев;
- 2) страхование грузовых потоков (принимаемых и отправляемых);
- 3) страхование общегражданской ответственности (например, риск вредного воздействия на окружающую среду), а также ответственности работодателя перед сотрудниками (например, риск получения увечья на рабочем месте);
- 4) страхование жизни и здоровья персонала.

В том случае, если у предприятия не хватает средств для комплексной страховой защиты, необходимо выделить те риски, реализация которых связана с наибольшими потерями, и застраховать именно их.

Если между страховой компанией и страхователем достигнуто соглашение о размерах возмещения (страховой суммы) и страховых премий, то заключается страховой договор, а страхователь получает специальный документ – страховой полис или свидетельство, в котором, помимо основных реквизитов, указываются:

- реквизиты компании-страхователя и страховщика;
- объект страхования;
- размер страховой суммы;
- страховой риск;
- размеры и порядок уплаты страховых взносов;
- срок действия договора;
- дополнительные условия договора.

При наступлении страхового случая страхователь может запросить дополнительные данные у правоохранительных органов, банков либо других организаций, располагающих информацией об обстоятельствах страхового случая. Кроме того, страхователь может самостоятельно выявить причины наступления этого случая. Если страховой случай не спровоцирован страхователем, а также отсутствуют другие условия, при которых страховая сумма не выплачивается, то страховщик возмещает ущерб, нанесенный страхователю, в пределах зафиксированной в договоре суммы.

Договор страхования в отдельных случаях может пересматриваться. К примеру, если страхователь осуществил какие-либо мероприятия, направленные на снижение вероятности наступления риска или повышение стоимости объекта страхования.

При выборе методов управления риском менеджер формирует антирисковую политику для компании, включающую мероприятия, направленные на снижение степени неопределенности в ее работе. Основные вопросы, на которые необходимо обратить внимание, сводятся к следующим:

- выбор наиболее эффективных методов управления рисками;
- определение влияния выбранной антирисковой политики на совокупный риск в деятельности организации.

По сути, выбор методов управления рисками сводится к расчету экономико-математической модели, где критериями и ограничениями выступают экономические и вероятностные характеристики риска. Кроме этого, на расчетную модель могут влиять и другие ограничивающие факторы, например технические или социальные.

При разработке системы риск-менеджмента менеджер должен учитывать прежде всего принцип ее результативности. Он заключается в том, что управляющие воздействия должны акцентироваться не на все риски, а в первую очередь на те, которые оказывают наибольшее влияние на деятельность компании. Например, в условиях бюджетных ограничений наиболее незначительные риски должны отбрасываться с целью экономии

ресурсов (пассивная стратегия). В то же время за счет освобожденных средств проводится интенсивная работа с более серьезными рисками (активная стратегия) [2, 5, 6].

Результатом данного этапа деятельности по управлению рисками будет являться программа управления рисками на предприятии. Она должна включать в себя детальное описание мероприятий, которые необходимо предпринять, ресурсное и информационное обеспечение, критерии определения эффективности программы, распределение ответственности.

## 5.2. Оценка эффективности управления рисками

На этапе мониторинга результатов и совершенствования системы управления риском должна реализовываться обратная связь в системе управления рисками. Первая задача этой связи заключается в определении общей эффективности функционирования системы в целом. Кроме того, выделяются узкие места и слабые стороны риск-менеджмента на предприятии.

Вторая задача – анализ рисков, реализованных за проверяемый период. При этом следует выявить причины реализации рисков и связанные с этим изменения программы управления риском, если таковые требуются.

Как следует из названия этапа, он направлен не только на наблюдение за процессом риск-менеджмента, но и на выявление тех усовершенствований, которые могут повысить эффективность работы системы управления рисками. Поэтому помимо двух вышеуказанных задач менеджер при реализации данного этапа управления рисками должен обратить внимание на следующие вопросы:

- вклад каждого реализованного мероприятия в общую эффективность системы;
- возможные коррективы в составе этих мероприятий;
- гибкость и эффективность системы принятия решений.

Помимо всего прочего, на данном этапе происходит пополнение информационной базы о рисках. Обновленная информация используется на

следующем цикле процесса риск-менеджмента.

Особенностью расчетов эффективности на данном этапе является учет гипотетических потерь. Это связано с тем, что за анализируемый период риски могли вообще не реализовываться, а расходы на функционирование системы управления рисками компания несет в любом случае. Если учитывать только реальные потери (ущерб от реализации рисков), то в некоторых случаях соотношение потерь и затрат на управление рисками будет говорить о нулевой эффективности работы системы риск-менеджмента. Однако отсутствие потерь может служить свидетельством высокой эффективности системы.

Основная цель оценки эффективности реализованной системы мероприятий заключается в ее адаптации к изменяющейся внешней среде.

Достижение этой цели осуществляется прежде всего посредством следующих изменений:

- замена малоэффективных мероприятий более эффективными (в рамках существующих ограничений);
- изменение организации исполнения программы управления риском.

Разработка рекомендаций по уменьшению риска является заключительным этапом анализа риска. В рекомендациях представляются меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

Меры по уменьшению риска могут иметь технический и (или) организационный характер. В выборе типа меры решающее значение имеет общая оценка действенности и надежности мер, оказывающих влияние на риск, а также размер затрат на их реализацию. На стадии эксплуатации опасного производственного объекта организационные меры могут компенсировать ограниченные возможности по осуществлению крупных технических мероприятий, направленных на уменьшение риска. При разработке мер по уменьшению риска необходимо учитывать, что вследствие возможной ограниченности ресурсов в первую очередь должны разрабатываться простейшие и связанные с наименьшими затратами рекомендации, а также меры на пер-

спективу. В большинстве случаев первоочередными мерами обеспечения безопасности, как правило, являются меры предупреждения аварии. Выбор планируемых для внедрения мер безопасности имеет следующие приоритеты:

1) меры уменьшения вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие:

- меры уменьшения вероятности возникновения инцидента;
- меры уменьшения вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

2) меры уменьшения тяжести последствий аварии, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:

- меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры);
- меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов);
- меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий [2, 3].

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых мер уменьшения риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

1) при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;

2) обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения мер по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов следует:

- определить совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;
- ранжировать эти меры по показателю «эффективность-затраты»;
- обосновать и оценить эффективность предлагаемых мер.

Для внедрения методологии анализа риска в практику обеспечения безопасности с учетом положений технического регулирования необходимо:

1) устранить различие в терминологии анализа риска, имеющееся в нормативных документах по промышленной, пожарной и экологической безопасности, взяв за основу положения РД 03-418–01, ГОСТ Р 51901–2002;

2) активизировать внедрение качественных (инженерных) методов анализа опасностей и совершенствование количественных методик оценки риска, в том числе для типовых сценариев аварий и основных эффектов-явлений (выброс, рассеяние, взрыв, «огненный шар», факельное горение и т.д.); объектов (магистральные трубопроводы, нефтебазы, газонаполнительные станции, объекты нефтегазодобычи, хранилища токсичных веществ и т.д.);

3) обеспечить совершенствование механизмов обучения и подтверждения квалификации специалистов через соответствующие системы аттестации и аккредитации, как это предусмотрено в системе экспертизы промышленной безопасности Ростехнадзора России.

Поспешное установление в технических регламентах и стандартах количественных критериев приемлемого риска в условиях отсутствия единых методических подходов к оценке риска может вызвать трудности при их использовании на практике и тем самым снизить доверие к методологии анализа риска как основы принятия решений по обеспечению безопасности техносферы [2].

Под идентификацией рисков понимают выявление рисков, их специфику, обусловленную природой и другими характерными чертами рисков, выделение особенностей их реализации, включая изучение размера экономического ущерба, а также изменение рисков во времени, степень взаимосвязи между ними и изучение факторов, влияющих на них. Этот процесс подразумевает определение следующих моментов:

- источники неопределенности и риска;
- последствия реализации риска;
- источники информации;

- численное определение риска;
- взаимное влияние рисков друг на друга.

На данном этапе прежде всего создается информационная база для реализации дальнейшего процесса управления рисками: сведения о риске и его последствиях, величине экономического ущерба, количественная оценка параметров риска и т.д. Дополнительно следует отметить, что идентификация и анализ риска не являются единовременно выполняемыми действиями. Скорее он представляет собой непрерывный процесс, осуществляемый на протяжении всего алгоритма риск-менеджмента [5, 6].

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте метод уклонения от риска.
2. В каких случаях применяют метод удержания риска?
3. Охарактеризуйте метод передачи риска. Какие способы передачи риска существуют?
4. Дайте характеристику метода страхования рисков.
5. На основании чего происходит выбор метода управления риском?
6. Какие существуют способы снижения величины риска?
7. Как оценить эффективность мероприятий по управлению рисками?
8. Какие методы риск-менеджмента предполагают исключение рискованных ситуаций из бизнеса?
9. Какие типы соглашений могут заключаться при заключении сделок по передаче риска?
10. При каком методе управления риском ответственность за риск переносится на третье лицо?
11. Каким принципом прежде всего необходимо руководствоваться при разработке системы риск-менеджмента?
12. В чем заключается основная цель оценки эффективности реализованной системы мероприятий по управлению рисками?
13. Какой характер могут носить меры по уменьшению риска?
14. Какие действия следует предпринять, чтобы определить приоритетность выполнения мер по уменьшению риска в условиях ограниченности ресурсов?
15. Какие действия, кроме выявления рисков, выполняются на этапе идентификации рисков?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровкова В., Мокин В., Пирогова О. Экономика недвижимости. – СПб.: Питер-Пресс, 2007 – 416 с.
2. Иванов А.А., Олейников С.Я., Бочаров С.А. Риск-менеджмент: учеб.-метод. комплекс. – М.: ЕАОИ, 2008. – 193 с.
3. Малашихина Н.Н., Белокрылова О.С. Риск-менеджмент. – Ростов н/Д: Феникс, 2004.
4. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.01 № 30 / ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2002.
5. Ступаков В.С., Токаренко Г.С. Риск-менеджмент: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.

### 4. Материал для изучения самостоятельных работ

#### Самостоятельная работа 1

### ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ

Для прогнозирования использовался анализ динамических рядов, который широко используется в прикладных исследованиях.

Задача математического описания не имеет однородного решения, т.к. существует бесконечное множество кривых, которые одинаково хорошо будут описывать существующие эмпирические данные.

Для выбора наилучшего уравнения зависимости уровня травматизма по годам используется программа "STOBR4", которая проводится в следующей последовательности:

- заранее выбираются пять классов математических кривых (видов уравнений);
- поочередно выдвигаются гипотезы о соответствии экспериментальных данных какому-либо из выбранных классов зависимости;
- выдвинутые гипотезы проверяются с помощью статистических критериев, в результате чего часть гипотез отвергается.

Среди данных классов моделей для прогнозирования уровня травма-

тима наилучшей оказалась модель в виде гиперболы.

Уравнение имеет вид

$$Y = A_0 + A_1 \cdot T + A_2 \cdot T^2, \quad (1.1)$$

где  $A_0, A_1, A_2$  - коэффициенты уравнения

$$A_0 = 7,021; A_1 = -0,035; A_2 = -0,007.$$

Таким образом, полученное уравнение будет иметь вид

$$y = 7,021 - 0,053 \cdot T - 0,007 \cdot T^2$$

Для прогнозирования количества машин для внесения органических удобрений и площади пашни в хозяйстве выбираем модели в виде прямой.

Уравнение имеет вид

$$y = A_0 + A_1 \cdot T, \quad (1.2)$$

где  $A_0, A_1$  – коэффициенты уравнения. Для машин по внесению органических удобрений  $A_0 = 213572; A_1 = -90,7;$

$T$  - средний коэффициент роста.

Уравнение будет выглядеть

$$y = 2135,72 + (-90,7) \cdot T$$

Для площадей пашни в хозяйстве  $A_0 = 3211,41, A_1 = -24,75.$

Уравнение будет выглядеть

$$y = 3211,41 - 24,75 \cdot T$$

Таблица 1.1 – Уровень травматизма при работе на разбрасывателях органических удобрений

Г о д ы	Уровень травматизма, %
1990	7,3
1991	7,5
1992	5,6
1993	5,0
1994	8,3
1995	7,5
1996	5,7
1997	6,2
2008	5,8

Для прогнозирования строим графики полученных регрессий.

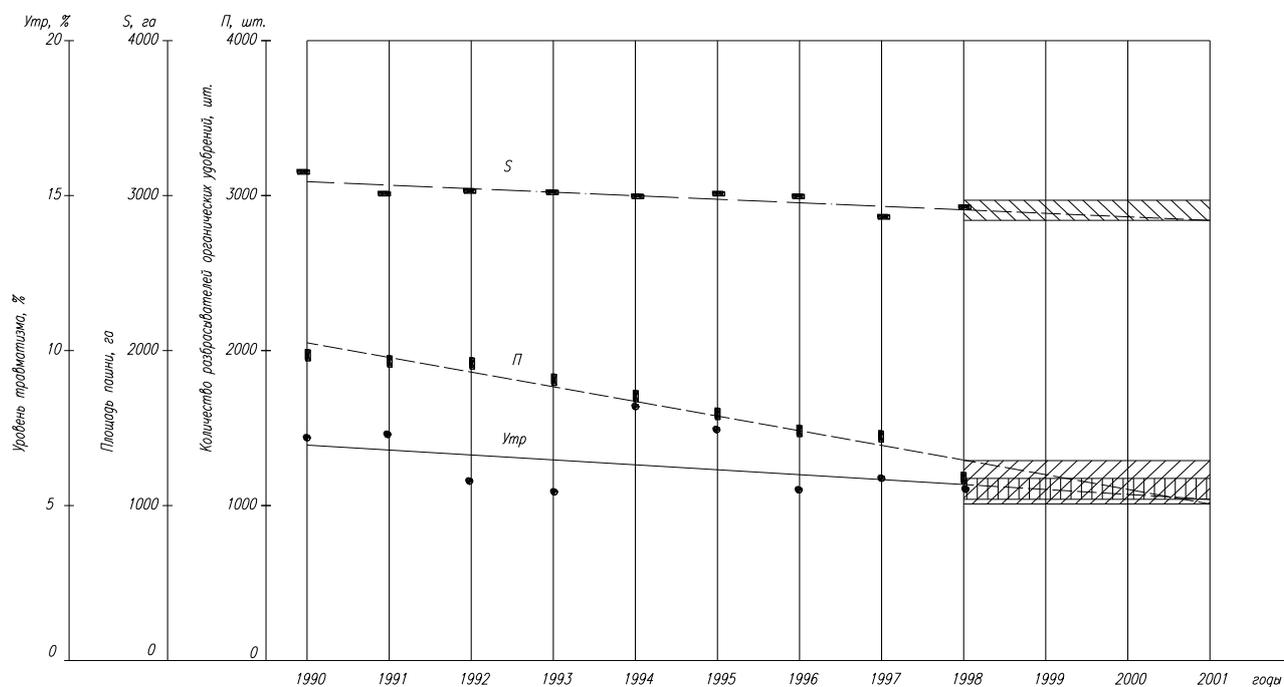


Рисунок 1.2 -Прогнозирование и анализ летального травматизма при разбрасывании органических удобрений

Причинами снижения уровня травматизма в изучаемой ситуации являются:

- снижение площадей пашни;
- переход на новые формы хозяйствования;
- уменьшение количества разбрасывателей органических удобрений.

На рисунке 1.2 представлены графики распределения уровня травматизма  $U_{тр}(\%)$ , количества машин по внесению органических удобрений  $n$ (шт.) и пахотных площадей  $S$  (га) по годам, на основании которых можно сказать, что существует прямая зависимость уровня травматизма от возделываемых площадей  $S$  и количества машин  $n$ .

В связи с этим можно сказать, что если сохранится тенденция уменьшения площадей пашни и количества машин, то производственный травматизм будет снижаться. Это говорит о том, что нельзя связывать такое положение с проведением различного вида трудоохранных мероприятий, которые, конечно, проводятся, но не дают ощутимых результатов. Все это вызывает необходимость дальнейшего повышения безопасности работающих. В связи с этим нами было предложено трудоохранительное устройство карданного вида. Ведь именно вращающийся карданный вал является причиной травм с летальным исходом при работе с не только разбрасывателями органических удобрений, но и любой другой техникой.

Для выбора наилучшего уравнения зависимости уровня травматизма по годам используется программа «Statistica», которая проводится в следующей последовательности:

Если модель сильно нелинейна, то необходимо использовать «Нелинейное оценивание», предварительно построив график и убедиться, что модель нелинейная. Необходимо ввести функцию для оценивая и ее сохранить, затем задать метод оценивая или вычислительный метод.

Результаты вычислений содержат значения функции потерь (разность наблюдаемых и получаемых значений), оценка параметров, коэффициент множественной корреляции, долю дисперсии исходных данных. Также можно

получить график и исходные данные (рис.3,4).

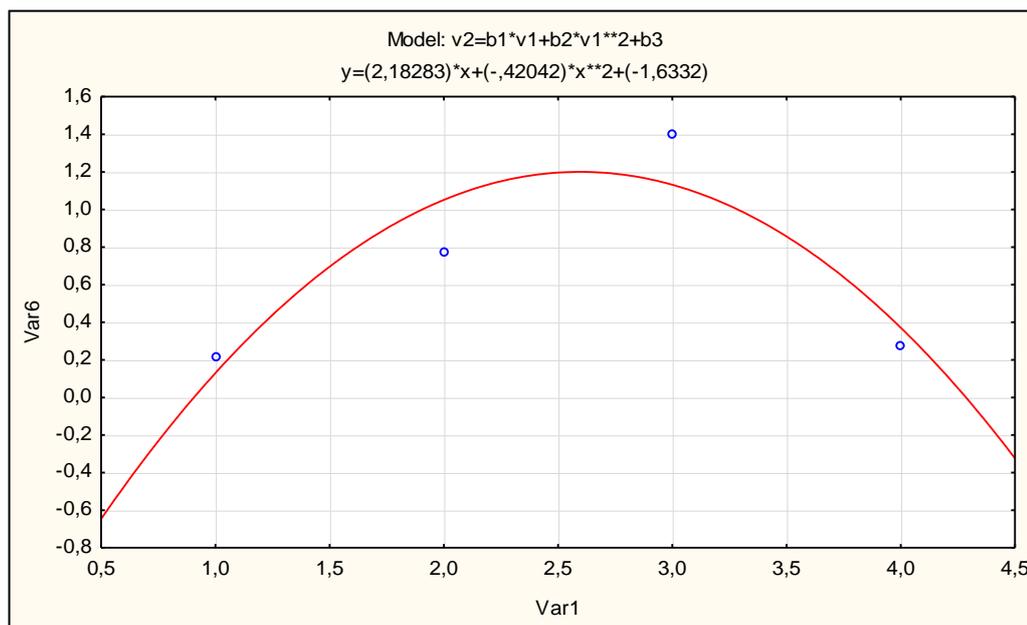


Рисунок 3- пример графика, полученного при нелинейной оценке

	Estimate	Standard	t-value	p-value	Lo. Conf	Up. Conf
b1	2,18283	1,030362	2,11851	0,280764	10,9092	15,27482
b2	-0,42042	0,202852	-2,07252	0,286195	-2,9979	2,15707
b3	-1,63321	1,129434	-1,44604	0,385172	15,9840	12,71760
	Observed	Predicted	Residuals			
1	0,219920	0,129202	0,090718			
2	0,778629	1,050784	-			
3	1,403690	1,131536	0,272155			
4	0,280738	0,371456	-			
			0,090718			

Рисунок 4 – пример полученных данных при нелинейной оценке

Данные нелинейной оценки позволяют получить прогнозирование уровня травмирования, как показано на риунках 5,6.

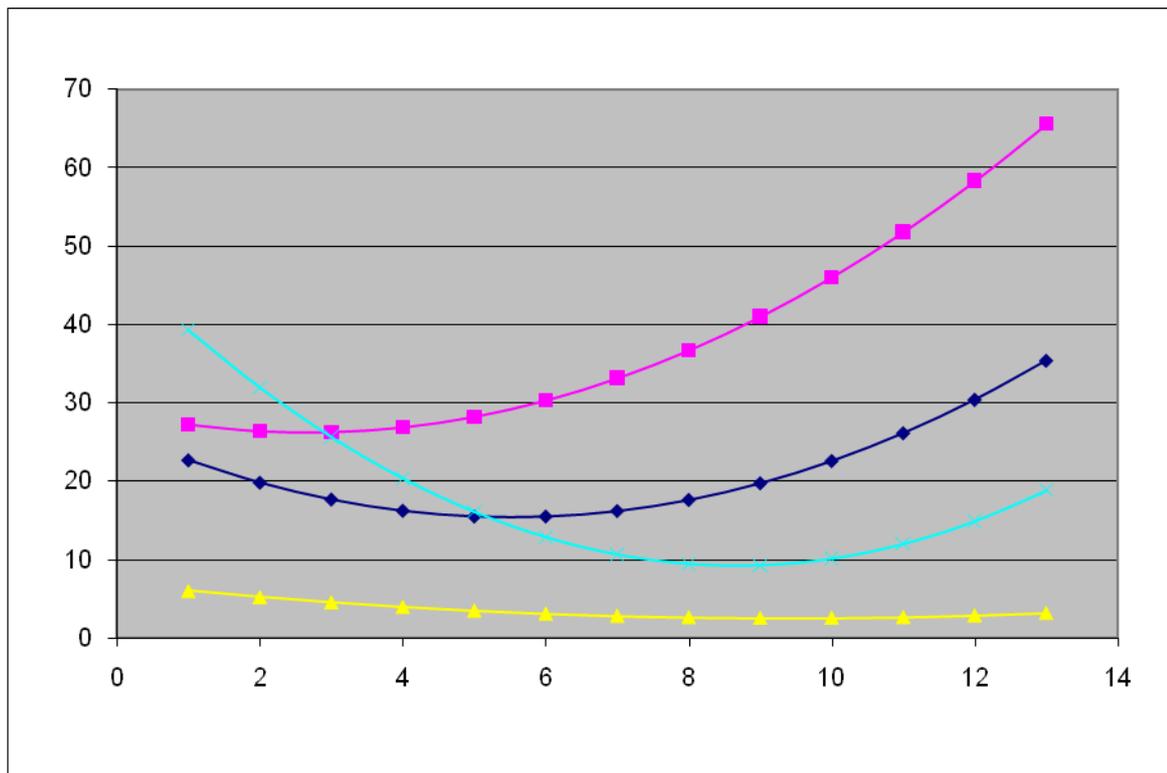


Рисунок 5 – пример полученных нелинейных оценок с целью прогнозирования уровней травматизма с использованием программы «Statistica»

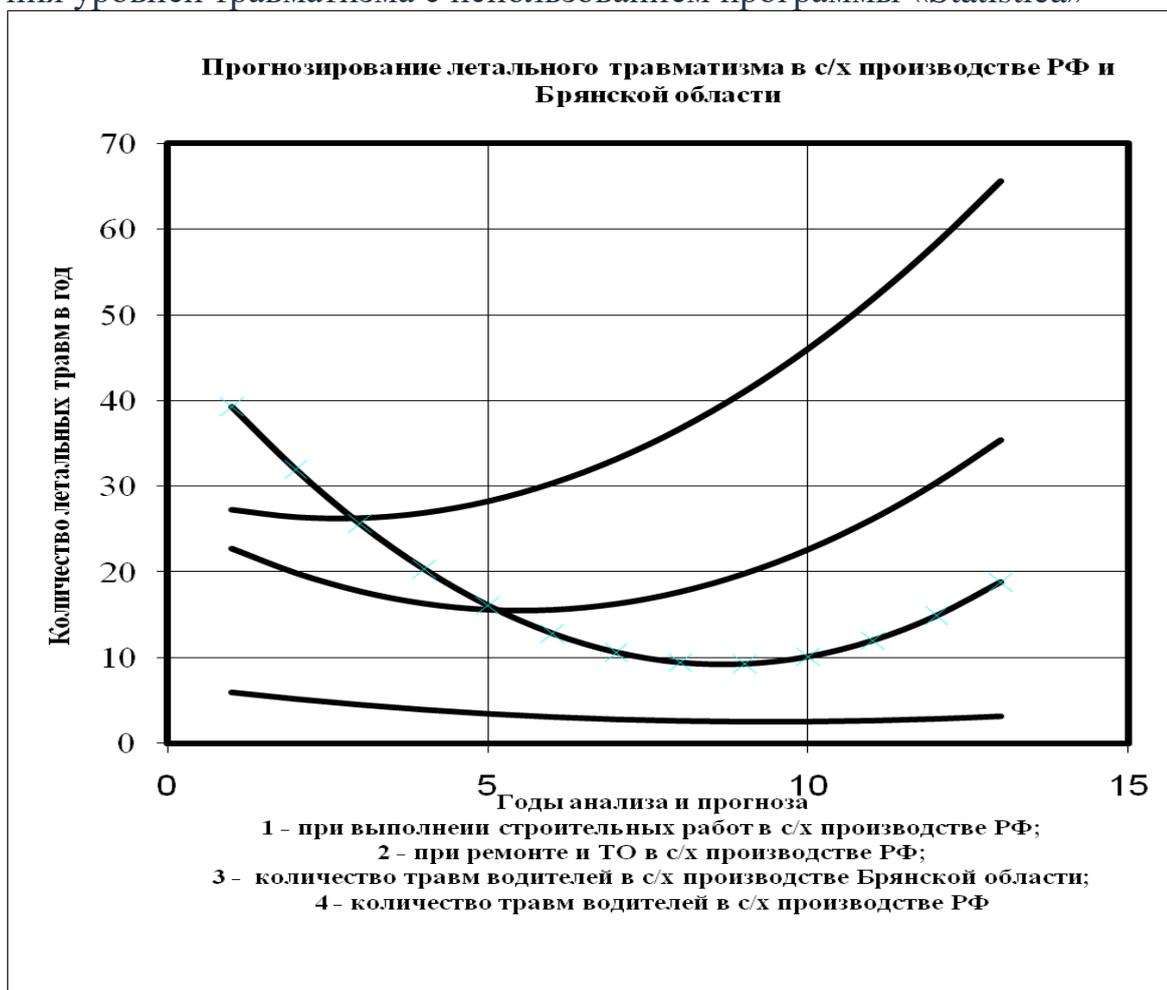


Рисунок 6 – пример оформленных графиков для использования в печать

Model:  $v2=b0*(v1)**2+b1*v1+b2$   
 (new.sta)  
 Dep. var: NEWVAR3 Loss: (OBS-PRED)\*\*2  
 Final loss: 10725,119697 R=,61953 Variance explained:  
 38,381%

	B0	B1	B2
Estimate	3,556818	39,222	262,9833

Predicted Values (new.sta)

	NEWVAR3 Predictd
C:1	227,3182
C:2	198,7667
C:3	177,3288
C:4	163,0045
C:5	155,7939
C:6	155,697
C:7	162,7136
C:8	176,8439
C:9	198,0879
C:10	226,4454

Рисунок 7 – пример математической модели для анализа и прогноза по программе «Statistica»

## Самостоятельная работа 2

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ

Обеспечение условий труда работающих при производстве сухих пище-концентратов достигается за счет реализации двух уровней системы пылезащиты: первый (I) и второй (II) уровни связаны, соответственно, с повышением эффективности существующих систем вентиляции и оценкой эффективности средств индивидуальной защиты.

На приведенной схеме (рис.2.2) модель функционирования системы пылезащиты при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства представлена в виде блок-схемы и состоит из трех блоков:

1 – блок, характеризующий улучшение условий труда за счет повышения эффективности использования вытяжных устройств системы пылезащиты и выбора скоростного режима пылеудаления;

2 – блок, характеризующий улучшение условий труда при существующей технологии производства и переработки продукции животноводства и растениеводства. Блоки 1 и 2 в совокупности создают систему пылеудаления при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства;

3 – блок, характеризующий улучшение условий труда при использовании существующих средств индивидуальной защиты системы пылезащиты в случае нештатных ситуаций (ремонт, техническое обслуживание, аварии, выбросы и т.д.);

4 – блок, соответствующий системе автоматического и автоматизированного удаления пыли;

5 – блок, соответствующий установке для имитации и контроля запотевания стекол защитных очков средств индивидуальной защиты;

$V_{oci}(t)$  – входной процесс блока 1 изменения скорости воздуха в основном воздуховоде, который определяет уровень обеспечения условий труда в условиях повышенной запыленности с учетом экономии затрат энергии на функционирование системы пылезащиты;

$P_{выi}(t)$  – выходной процесс блока 1 (входной процесс блока 2) изменения вероятности нахождения работающих во вредных условиях труда (превышения концентраций пыли в воздухе рабочей зоны), параметры которого определяются вероятностно-статистическими оценками случайной последовательности дискретных значений  $P_{выi}$ , полученных по выражению:

$$P_{выi}(t) = \frac{c_i}{c_{max} - c_{(i-1)}}, \quad (2.1)$$

где  $c_i$  – концентрация пыли в  $i$ – момент времени ( $i=1,2,3\dots n$ ) с шагом дискретизации  $\Delta t$  и периодом измерения  $t$ , мг/м<sup>3</sup>;

$c_{max}$  – максимальная концентрация пыли, на момент начала работы системы вентиляции, мг/м<sup>3</sup>;

$P_{zi}(t)$  – выходной процесс блока 2, который является входным процессом блока 3, изменения параметра условий труда в виде изменения вероятности получения профессионального заболевания (отравления) при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства;

$P_{Ti}(t)$  – выходной процесс блока 3 изменения параметра условий труда в виде изменения вероятности получения производственной травмы производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства в случае выхода параметров условий труда  $P_{\epsilon yi}(t)$ , при которых возможно получить острые заболевания (отравления).

Обратные связи 1', 1'', 2'' и 3'' – характеризуют управление условиями труда работающих при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства:

- 1' – влияния на параметры процесса пылеудаления (изменения скорости воздуха в основном воздуховоде);

- 1'' – оптимизации оператора  $W_1$  (выбора параметров вытяжных устройств);

- 2'' – использования технических средств пылеудаления (средств автоматического и автоматизированного удаления пыли);

- 3'' – использования средств оценки эффективного применения средств индивидуальной защиты (установка для имитации и контроля запотевания стекол защитных очков средств индивидуальной защиты);

$W_1, W_2, W_3$  – операторы динамических подсистем 1, 2 и 3, соответственно.

$W_1$  – оператор преобразования входных процессов изменения скоростей движения воздуха  $V_{oci}(t)$  в основном воздуховоде в выходные процессы изменения вероятности нахождения работающих во вредных условиях труда  $P_{\epsilon yi}(t)$  (блок 1), характеризующий повышение эффективности использования вытяжных устройств системы пылеудаления;

$W_2$  – оператор преобразования входных процессов изменения вероятности нахождения работающих во вредных условиях труда  $P_{\epsilon yi}(t)$  в выходные процессы изменения вероятности получения профессионального заболевания

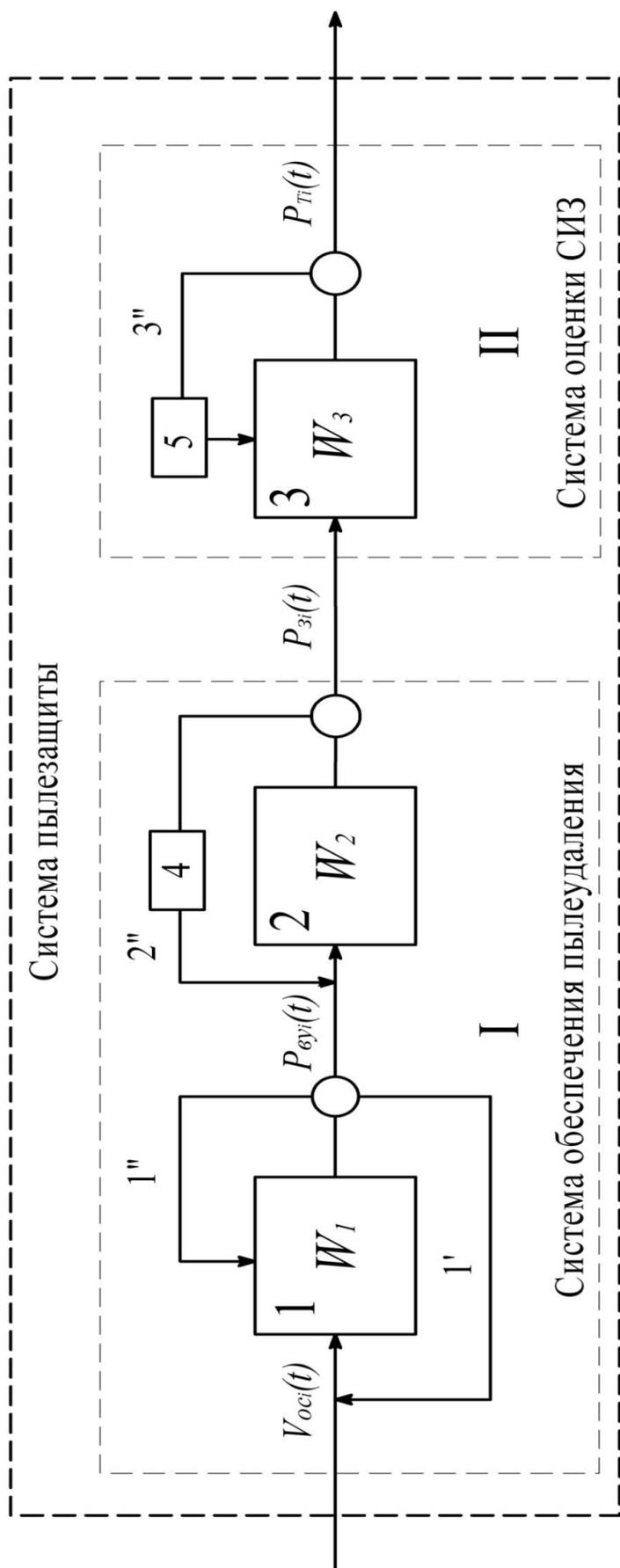


Рис. 3.2. Модель функционирования системы защиты работающих при переработке продукции животноводства и растениеводства

(отравления)  $P_{zi}(t)$  (блок 2), характеризующий повышение эффективности использования средств автоматизации и автоматики системы пылеудаления;

$W_3$ – оператор преобразования входных процессов изменения вероятности получения профессионального заболевания (отравления)  $P_{zi}(t)$  в выходные процессы изменения вероятности получения производственной травмы  $P_{Ti}(t)$  (блок 3), характеризующий повышение эффективности использования средств индивидуальной защиты системы пылезащиты.

Синтез процессов функционирования заключается в установлении оператора (математической модели), обеспечивающего определенное преобразование входных воздействий. Оптимизация процессов функционирования системы пылезащиты сводится к определению оператора, который обеспечивает оптимальное преобразование этих входных воздействий.

В зависимости от вида моделей, возможностей получения экспериментальных реализаций процессов и требуемой точности оценок используются различные методы идентификации во временной и частотной области. В результате получают оценки операторов преобразования динамической системы входных сигналов в выходные в виде передаточных и частотных функций или импульсных характеристик, дифференциальных уравнений, уравнений регрессии. После идентификации производится оценка степени идентичности полученной модели.

Для решения поставленных в нашем случае задач представляется наиболее подходящим алгоритм идентификации по спектральным плотностям изучаемых процессов (в случае нормального распределения ординат процессов  $V_{oc}(t)$  и  $P_{vy}(t)$ , принадлежности их к классу стационарных и линейности модели), основанный на вычислении по спектральным характеристикам реализаций процессов на входе и выходе модели частотной функции с последующей аппроксимацией ее аналитическим выражением. Результатом аппроксимации являются численные оценки коэффициентов передаточной функции модели. Простейшим уравнением идентификации в частотной области являются выражения:

$$S_{V_{oc}}(\omega) = S_{P_{By}}(\omega)[A(\omega)]^2 \quad (2.2)$$

$$S_{P_B}(\omega) = S_{P_3}(\omega)[A'(\omega)]^2 \quad (2.3)$$

$$S_{P_3}(\omega) = S_{P_T}(\omega)[A''(\omega)]^2 \quad (2.4)$$

где  $[A(\omega)]^2$ ,  $[A'(\omega)]^2$ ,  $[A''(\omega)]^2$  – амплитудно-частотные характеристики улучшения условий труда блоков 1, 2, 3, соответственно;

$S_{V_{oc}}(\omega)$ ,  $S_{P_{By}}(\omega)$ ,  $S_{P_3}(\omega)$ ,  $S_{P_T}(\omega)$  – спектральные плотности выходных и входных процессов блоков 1, 2, 3, соответственно.

Амплитудно-частотные характеристики  $[A(\omega)]^2$ ,  $[A'(\omega)]^2$ ,  $[A''(\omega)]^2$  могут быть аппроксимированы выражениями вида:

$$[A(\omega)]^2 = \frac{(d_1\omega^4 + d_2\omega^2 + 1)K^2}{c_0\omega^6 + c_1\omega + c_2\omega^2 + 1}, \quad (2.5)$$

$$[A'(\omega)]^2 = \frac{(d'_1\omega^4 + d'_2\omega^2 + 1)K'^2}{c'_0\omega^6 + c'_1\omega + c'_2\omega^2 + 1}, \quad (2.6)$$

$$[A''(\omega)]^2 = \frac{(d''_1\omega^4 + d''_2\omega^2 + 1)K''^2}{c''_0\omega^6 + c''_1\omega + c''_2\omega^2 + 1}, \quad (2.7)$$

которым соответствуют передаточные функции  $W(S)$ :

$$W(S) = K^2 \frac{\tau_1^2 S^2 + \tau_2 S^2 + 1}{T_1^2 S^2 + T_2^2 S^2 + T_2 S^2 + 1}, \quad (2.8)$$

$$W'(S) = K'^2 \frac{\tau_1'^2 S^2 + \tau_2' S^2 + 1}{T_1'^2 S^2 + T_2'^2 S^2 + T_2' S^2 + 1}, \quad (2.9)$$

$$W''(S) = K''^2 \frac{\tau_1''^2 S^2 + \tau_2'' S^2 + 1}{T_1''^2 S^2 + T_2''^2 S^2 + T_2'' S^2 + 1}, \quad (2.10)$$

где  $c_0 = T_1^6$ ,  $c_1 = T_2^4 - 2T_3T_1^3$ ,  $c_2 = T_3^2 - 2T_2^2$ ,  $d_1 = \tau_1^4 d_2$ ,  $d_2 = \tau_2^2 - 2\tau_2^2$ ;

$\tau_1, \tau_2, T_1, T_2, T_3$  – постоянные, имеющие размерность времени;

$$c'_0 = T_1'^6, c'_1 = T_2'^4 - 2T_3'T_1'^3, c'_2 = T_3'^2 - 2T_2'^2, d'_1 = \tau_1'^4 d'_2, d'_2 = \tau_2'^2 - 2\tau_1'^2;$$

$\tau'_1, \tau'_2, T'_1, T'_2, T'_3$ ; – постоянные, имеющие размерность времени;

$$c''_0 = T_1''^6, c''_1 = T_2''^4 - 2T_3''T_1''^3, c''_2 = T_3''^2 - 2T_2''^2, d''_1 = \tau_1''^4 d''_2, d''_2 = \tau_2''^2 - 2\tau_1''^2;$$

$\tau''_1, \tau''_2, T''_1, T''_2, T''_3$  – постоянные, имеющие размерность времени;

$K, K', K''$  - коэффициенты усиления.

Анализ амплитудно-частотных характеристик улучшения условий труда предполагает установление зависимостей приведенных коэффициентов от факторов, характеризующих условия труда работающих при производстве сухих пищевых концентратов. Таким фактором является параметр вытяжного устройства ( $K_{ycm}$ ) – коэффициент, характеризующий угол  $\alpha$  раскрытия вытяжного воздуховода.

Оптимальными параметрами вытяжного устройства блока 1 модели являются такие, при которых концентрация пыли  $c_i$  при нахождении работающих при производстве сухих пищевых концентратов будет минимальной ( $c_i \rightarrow \min$ ). При этом зависимость  $P_{vy}(t) = f(c, t)$  достигается за счет одновременного снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны  $C_i$  и сокращения времени нахождения во вредных условиях труда  $t_{vyi}$ .

Оптимальные параметры выходного процесса  $P_{vy}(t)$  блока 1 при параметрах эффективности  $K_{ycm}$ , оказывающих влияние на амплитудно-частотных характеристик улучшения условий труда  $[A(\omega)]^2$  при функционировании системы пылеудаления можно получить:

$$[P_{vy}^{opt}(t)] = f_1 [V_{oc}(t), [A'(\omega)]^2 = \varphi(K_{ycm})] \quad (2.11)$$

Аналогично можно получить оптимальные параметры выходных про-

цессов  $P_3(t)$  и  $P_T(t)$  блоков 2 и 3, соответственно:

$$[P_3^{omn}(t)] = f_2 [P_{by}(t), [A'(\omega)]^2 = \varphi(t_{by})] \quad (2.12)$$

где  $[A(\omega)]^2$ ,  $[A'(\omega)]^2$ ,  $[A''(\omega)]^2$  – амплитудно-частотные характеристики улучшения условий труда при использовании автоматизированных и автоматических систем пылеудаления, и установки имитации и контроля запотевания стекол защитных очков.

Оптимальные параметры выходных процессов  $P_3(t)$  и  $P_T(t)$  блоков 2 и 3 невозможно получить при получении травм и заболеваний с инвалидным и смертельным исходами. В связи с этим предлагается получить зависимости  $[P_3^{omn}(t)] = f_2(t_{by})$  и  $[P_{nc}^{omn}(t)] = f_3(t_3)$ , представленные на рис. 2.3.

Согласно рабочей гипотезе вероятность появления несчастного случая работающих при переработке сельскохозяйственного сырья определяется из выражения:

$$P_{nc} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (2.13)$$

где  $P_1$  – вероятность нахождения во вредных условиях труда при функционировании системы вентиляции;

$P_2$  – вероятность нахождения во вредных условиях труда при использовании предлагаемых автоматизированных и автоматических систем пылеудаления;

$P_3$  – вероятность появления несчастного случая при использовании предлагаемых средств индивидуальной защиты.

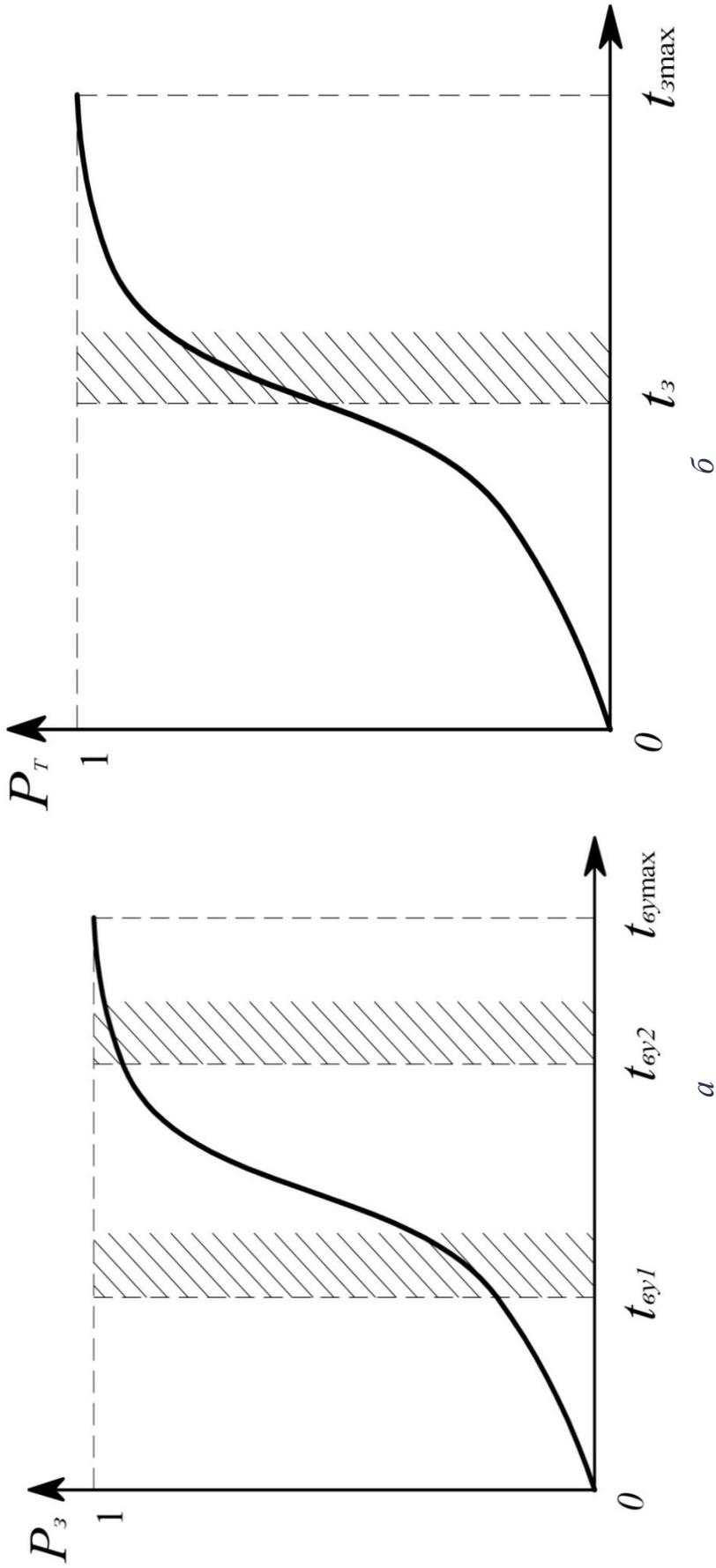
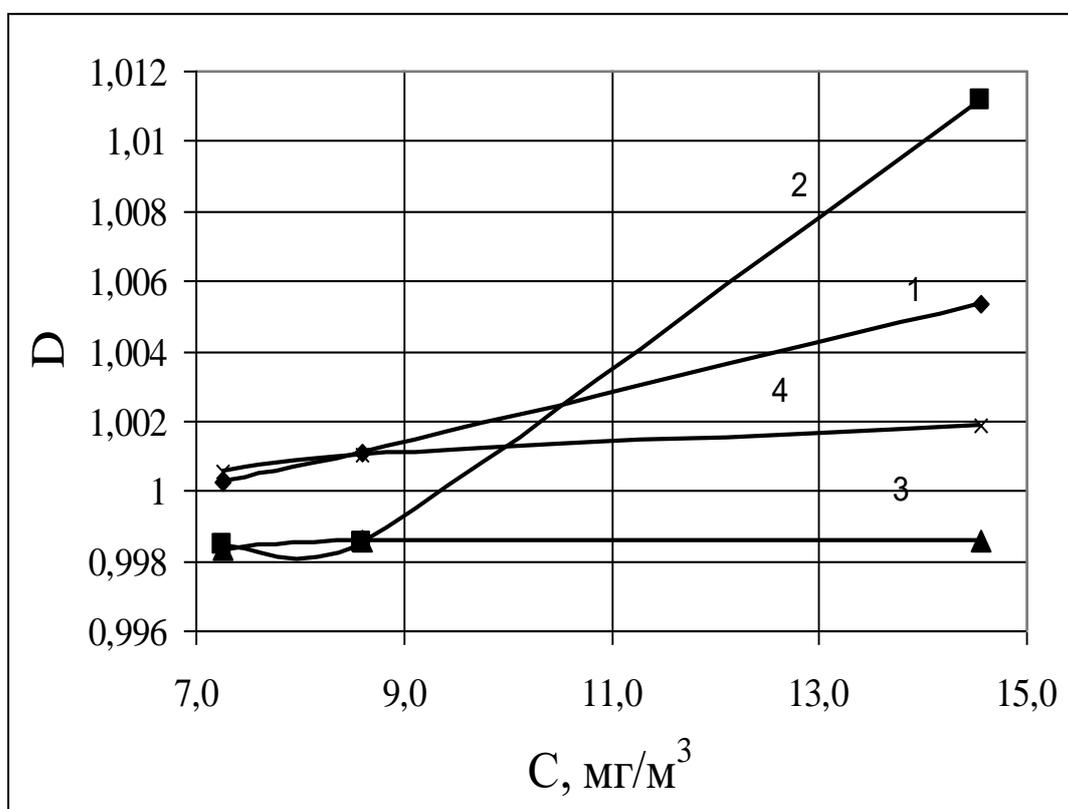


Рис. 2.3. Зависимости: а —  $P_3 = \varphi(t_{ey})$  при использовании автоматизированных и автоматических систем, б —  $P_T = \varphi(t_3)$  существующих средств индивидуальной защиты;  $t_{ey1}$  — время нахождения во вредных условиях труда с использованием автоматизированных и автоматических систем пылеудаления,  $t_{ey2}$  — время нахождения во вредных условиях труда при существующих системах пылеудаления;  $t_3$  — время снижения опасности травмирования при использовании эффективных средств индивидуальной защиты

## 2 Практическая часть

Определение эффективности использования систем автоматизированного и автоматического пылеудаления при производстве сухого пищевого концентрата в условиях чрезвычайных ситуаций

Результаты исследования средств контроля концентрации пыли сухого пищевого концентрата красной свеклы показали что, оптическая плотность воздуха при использовании в качестве излучателя красного, зеленого, желтого и синего светодиодов удовлетворяет требованиям обеспечения условий труда в случае красного светодиода, значения которой представлена на рис. 2.4.



**Рис. 2.4.** Результаты исследования средств контроля концентрации пыли сухого пищевого концентрата красной свеклы оптической плотности  $D$  воздуха:  $C$  – концентрация пыли,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ; 1 – красный светодиод; 2 – зеленый светодиод; 3 – желтый светодиод; 4 – синий светодиод

По результатам экспериментального исследования получены гистограммы и статистические функции распределения (рис 2.5) времени реакции системы для снижения концентрации пыли при случае использования автоматиче-

ских (рис. 2.5 а) и автоматизированных (рис. 2.5 б) систем пылеудаления.

Функции распределения вероятностей соответственно имеют вид:

$$P(t_p) = 0,083 \cdot e^{-\frac{(t_p - 19,346)^2}{46,451}} \quad (2.14)$$

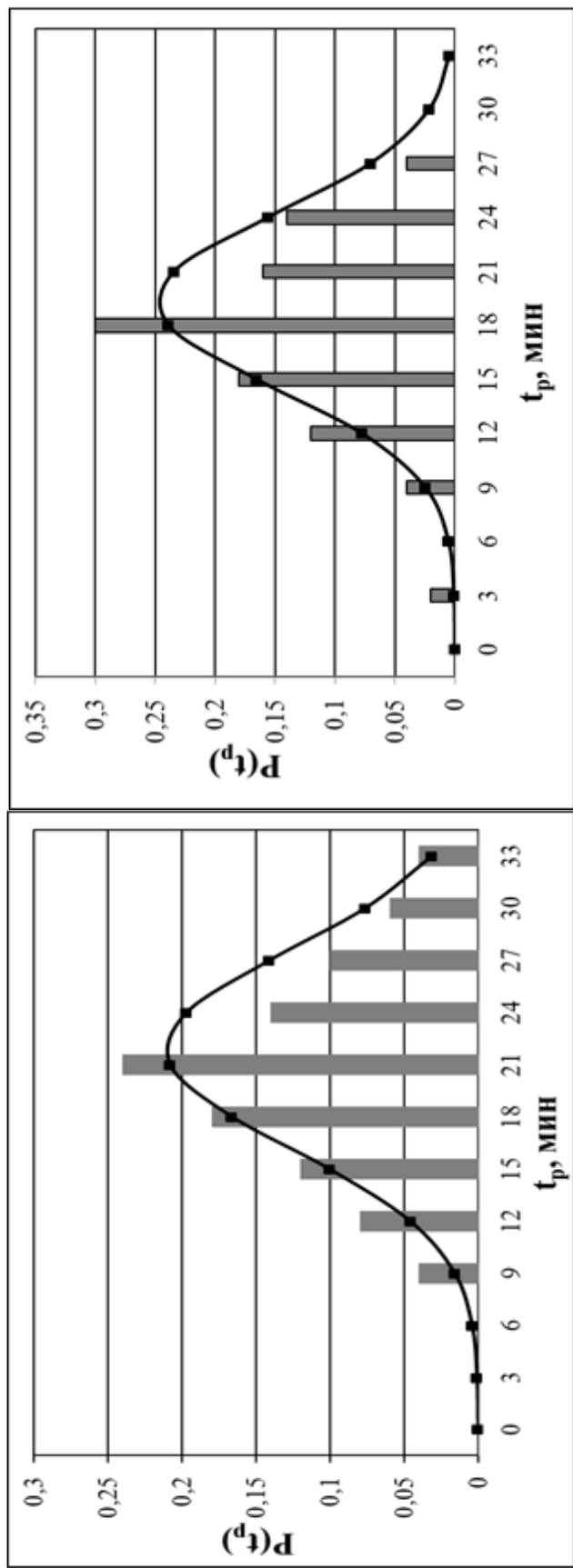
$$P(t_p) = 0,070 \cdot e^{-\frac{(t_p - 21,912)^2}{64,673}} \quad (2.15)$$

Для первого случая  $t_p = 19,346$  мин, для второго случая –  $t_p = 21,912$  мин.

Таким образом, при использовании автоматических и автоматизированных систем пылеудаления и систем с гравиметрическим методом контроля параметров пылеудаления время снижения концентрации пыли до значений ПДК  $t_p$  системами пылеудаления (время нахождения работающих при повышенной запыленности) составляет соответственно 19,346 и 21,912 мин.

Оценку эффективности использования автоматических и автоматизированных систем пылеудаления произвели на основе полученной зависимости вероятности возникновения профессионального заболевания  $P_3(t)$  от времени реакции  $t_3$  системы пылеудаления (рис. 2.5).

Из графика видно, что использование автоматических систем пылеудаления по сравнению с автоматизированными системами пылеудаления снижает вероятность получения профессионального заболевания в 1,41 раза.



а

б

Рис. 2.5. Статистическая оценка эффективности использования устройства автоматического регулирования системы вентиляции при производстве сухих пищекопцентратов: а – при использовании устройств автоматического пылеудаления; б – при использовании устройств автоматизированного пылеудаления;  $t_p$  – время реакции системы, с;  $P(t_p)$  – вероятность попадания параметра в заданный предел

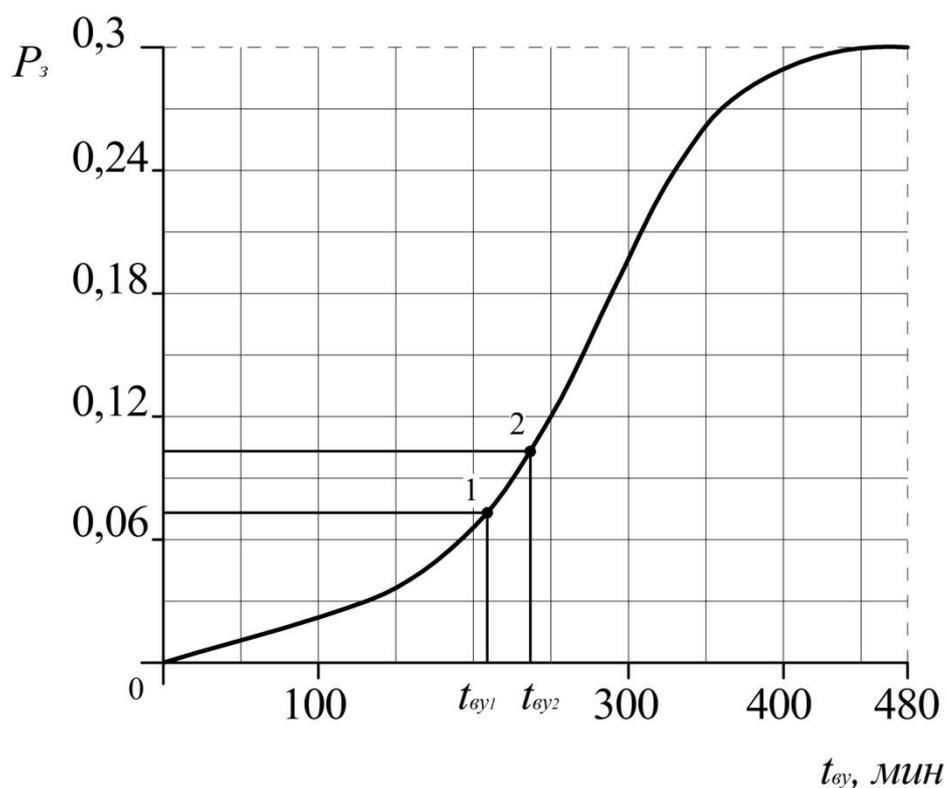


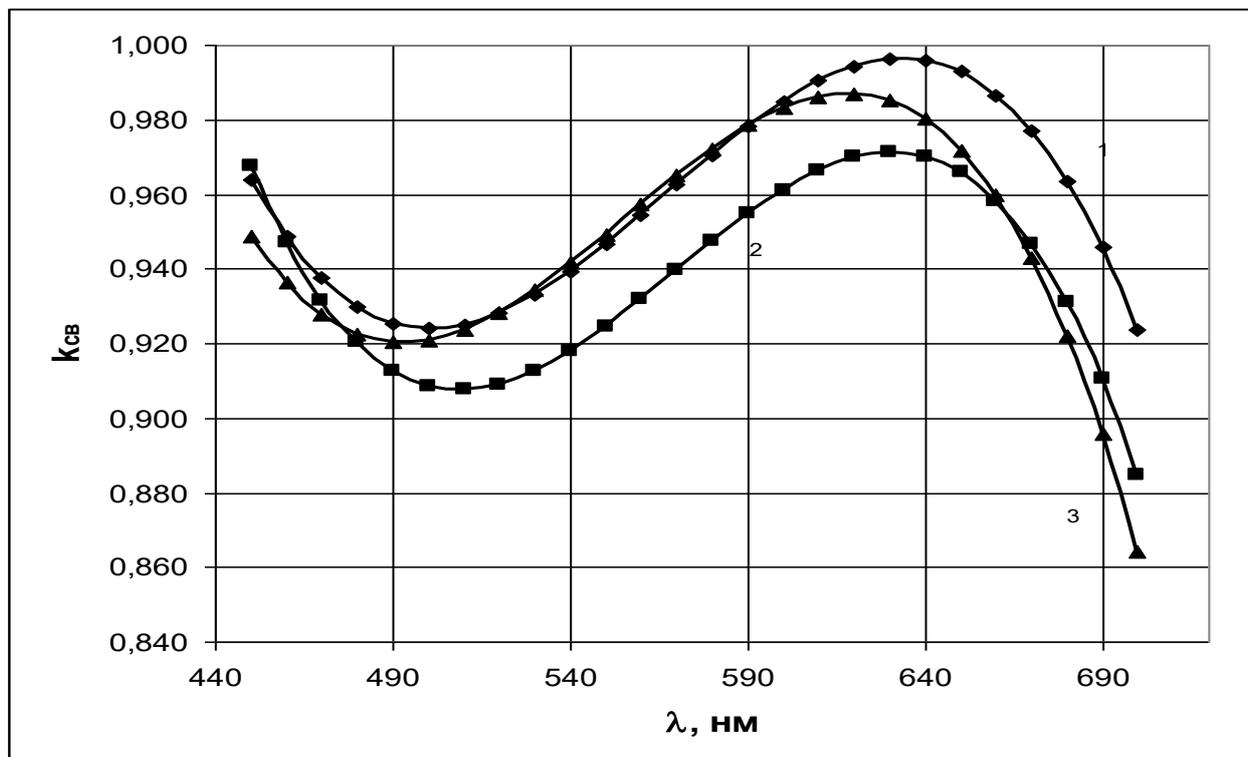
Рис. 2.6. График зависимости вероятности возникновения заболевания от времени нахождения в условиях повышенной запыленности при и использовании автоматических и автоматизированных систем пылеудаления

### **Оценка эффективности защиты зрительного анализатора при производстве сухого пищевого концентрата красной свеклы**

Оценка эффективности использования предлагаемых средств индивидуальной защиты при производстве сухого пищевого концентрата красной свеклы проводилась на основе получения зависимостей (рис.2.6) спектрального коэффициента светопропускания  $k_{сз}$  от длины волны  $\lambda$  источника искусственного света при запотевании очковых стекол средств индивидуальной защиты в условиях повышенной запыленности при пропускании света с длинами волн: синий (463 нм) – зеленый (533 нм) – желтый (578 нм) – красный (683 нм).

По результатам светопропускания через очковые стекла следующих средств индивидуальной защиты: очки закрытые пылезащитные с прямой вентиляцией подочкового пространства (типа ЗП); гражданский противогаз

(типа ГП-5); очки закрытые пылезащитные с непрямой вентиляцией (типа ЗН), были получены (табл. 2.8 и рис. 2.7) значения спектрального коэффициента светопропускания  $k_{св}$  в зависимости от длин волн излучаемого света  $\lambda$ , нм.



**Рис. 2.7.** Зависимости спектрального коэффициента светопропускания  $k_{св}$  очковых стекол средств индивидуальной защиты от длины волны  $\lambda$  излучаемого света: 1 – очки закрытые пылезащитные с прямой вентиляцией подчочкового пространства (типа ЗП); 2 – гражданский противогаз (типа ГП-5); 3 – очки закрытые пылезащитные с непрямой вентиляцией (типа ЗН)

Приведенные графические зависимости:

$$Y_1 = -6,211 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00011 \cdot x^2 - 0,05911 \cdot x + 11,83, \quad (2.16)$$

$$Y_2 = -7,122 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00012 \cdot x^2 - 0,069 \cdot x + 13,668, \quad (2.17)$$

$$Y_3 = -6,788 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00011 \cdot x^2 - 0,062 \cdot x + 12,141, \quad (2.18)$$

позволили выявить диапазон длин волн 620-630 нм (красный свет), при котором максимальные спектральные коэффициенты светопропускания  $k_{сз}$  составляют соответственно для типа средств индивидуальной защиты: ЗП8 –  $k_{сз}=0,996$ ; ГП-5 –  $k_{сз}=0,971$ ; ЗН-15А –  $k_{сз}=0,987$ .

Таблица 5.8 – Результаты исследований зависимости спектрального коэффициента светопропускания  $k_{сз}$  очковых стекол средств индивидуальной защиты от длины волны  $\lambda$  излучаемого света

Длина волны $\lambda$ , нм	Коэффициент светопропускания $k_{сз}$		
	Тип СИЗОЗ		
	ЗП8	ШМ-62У	ЗН 15-А
450	0,964	0,967	0,949
460	0,949	0,947	0,936
470	0,938	0,932	0,928
480	0,930	0,920	0,922
490	0,926	0,913	0,920
500	0,924	0,909	0,921
510	0,925	0,907	0,924
520	0,928	0,909	0,928
530	0,933	0,913	0,934
540	0,939	0,918	0,942
550	0,947	0,924	0,949
560	0,954	0,932	0,957
570	0,963	0,940	0,965
580	0,971	0,947	0,972
590	0,978	0,955	0,978
600	0,985	0,961	0,983
610	0,991	0,966	0,986
620	0,994	0,970	0,987
630	0,996	0,971	0,985
640	0,996	0,970	0,980
650	0,993	0,966	0,972
660	0,987	0,958	0,960
670	0,977	0,947	0,943
680	0,963	0,931	0,922
690	0,946	0,911	0,896
700	0,924	0,885	0,864

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о предпочтении защитных очков ЗП-8 по сравнению с другими исследуемыми СИЗ (ЗН и ГП-5) в условиях сочетанного действия запотевания стекол и повышенной запыленности воздуха при производстве сухого пищевого концентрата красной свеклы, а также важность работ по совершенствованию конструкции СИЗОЗ и выборе материала очковых стекол с целью уменьшения их запотеваемости.

## **Выводы**

1. Производство и переработка пищевых продуктов является важным направлением агропроизводства. Однако при этом санитарно-гигиенические параметры условий труда работающих не соответствуют предъявляемым нормам, что значительно влияет на уровни профессиональных заболеваний и производственный травматизм в отрасли в целом по Российской Федерации и в частности, Орловской области. Под воздействием повышенной запыленности воздуха рабочей зоны находятся в среднем 12% от работающих во вредных условиях труда в Российской Федерации, по Орловской области – в среднем 28%. Проводимые научные исследования в данном направлении пока не дали ощутимых результатов и проблема снижения запыленности воздуха рабочей зоны остается актуальной.

2. Производство соусов в виде гранул на основе свеклы (патент РФ №2411879) по сравнению с обычной технологией сопровождается повышенным выделением пыли сухих пищевых концентратов, концентрации которых превышают в 1,2-5 раз в зависимости от технологического процесса. Применение существующих пылезащитных мероприятий согласно проведенного анализа, имеют низкую эффективность использования из-за недостаточной степени очистки воздуха, повышенной трудоемкости обслуживания, отсутствия непрерывности контроля параметров запыленности, повышенных энергозатрат.

3. Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы позволил установить возможность снижения запыленности воздуха рабочей зоны при производстве сухих пищевых концентратов в соответствии с разрабо-

танной моделью обеспечения условий труда за счет реализации трех этапов улучшения условий труда: повышения параметров эффективности вытяжных устройств, средств автоматизации и средств индивидуальной защиты, позволяет получить оптимальные значения коэффициента  $K_{уст}$ , характеризующего угол раскрытия вытяжного устройства и скорости воздуха  $V_{oc}$  в основном воздуховоде.

3. Предлагаемая технология улучшения условий труда при производстве сухих концентратов с разработанными системой вентиляции промышленного предприятия (патент), устройством контроля запыленности воздуха (патент), установкой для имитации и контроля запотевания стекол защитных очков и методики оценки их эффективности, позволяют снизить на 60% вероятность нахождения во вредных условиях труда работающих.

### 5.5. Список литературы

1. Шкрабак, В.С. Исследования эффективности улучшения условий труда работающих концентратных производств с использованием средств контроля / В.С. Шкрабак, Т.И. Белова, Е.М. Агашков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, - СПб, 2014. – №34. – С. 210-215.

2. Агашков, Е.М. Обоснование применения средств автоматизации систем вентиляции в условиях запыленности воздуха рабочей зоны [Текст] / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, // Развитие стратегии и тактики динамики снижения и ликвидации производственного травматизма и профессиональных заболеваний в АПК на основе работы трудоохранной школы Санкт-Петербургского государственного аграрного университета: сбор. науч. труд. – СПбГАУ. – СПб, 2012. – С. 104-106.

3. Агашков Е.М. Исследование систем автоматизированного удаления вредных веществ из воздуха производственных помещений в учебном процессе / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Д.А. Кравченко // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений: материалы

международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2010. – Выпуск 2. – С.11-14.

### Самостоятельная работа 3

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ТЕХНОСФЕРЫ

Повышение эксплуатационной безопасности картофелеуборочных агрегатов МТЗ-82+КПК-2-01 обеспечивается за счет реализации двух уровней. Первый уровень связан с управлением активной безопасности за счет минимизации экспозиции вынужденного нахождения операторов изучаемых машин в опасных зонах, второй - с управлением пассивной безопасности за счет повышения эффективности защиты работающих в зонах карданных валов.

На основе обобщения результатов нами предлагается моделирование травоопасных ситуаций в виде блок-схем событий или деревьев событий при устранении технологических отказов в условиях эксплуатации картофелеуборочных комбайнов (рис. 3.1, 3.2). На представленной схеме (рис. 3.1) событие Т – травмирование, которое может произойти при пересечении событий А, В, С, Д. Событие А связано с нахождением работающих в опасных зонах машины в условиях их эксплуатации; событие В обусловлено наличием фактора травоопасности; событие С является следствием наличия неогражденной зоны карданного вала, связанных с использованием технических средств безопасности; событие Д может произойти при устранении технологических отказов в зонах карданных валов комбайна на расстоянии, достаточном для травмирования (такие события в данном случае учесть невозможно).

В свою очередь событие В есть результат суммы событий  $V_1$ , когда вал отбора мощности трактора в результате устранения технологических отказов не отключен и  $V_2$ , когда вал отбора мощности отключен и может произойти

его самовольное включение по известным причинам.

Событие С может быть при использовании существующих серийных защитных кожухов карданных валов  $C_1$  или перспективных предохранительных устройств карданных валов  $C_2$ .

Событие А (рис.3.2) есть результат суммы событий М, О, Е. Событие М может произойти при эксплуатации картофелеуборочных агрегатов в случаях срабатывания соответствующих предохранительных муфт из-за технологических отказов (событие  $M_0$ )  $M_{01}, M_{02}, M_{03}, \dots, M_{0n}$ ; не приводящих к срабатыванию предохранительных муфт  $M_0$ , которое есть сумма событий  $M_{01}$  ( в процессе непосредственного выполнения технологического процесса) и  $M_{02}$  (при простоях по организационным причинам). Кроме этого события  $M_{01}$  и  $M_{02}$  есть сумма соответственно событий  $M_{011}, M_{012}, M_{021}, M_{022}$ , связанных соответственно с устранением забиваний и неисправностей из-за забиваний рабочих органов машин во время выполнения технологического процесса, а событие Е – с устранением технических отказов, проведением технического обслуживания в условиях ремонтной мастерской ( учет события Е не входит в задачи исследования).

Возможность травмирования в соответствии с блок-схемами математически выражается при использовании логических умножений (конъюнкций ) и сложений (дизъюнкций) булевых переменных:

$$T = A \cdot B \cdot C = A (B_1 \vee B_2) (C_1 \vee C_2),$$

где знак  $\vee$  – логическое сложение булевых переменных  $B_1, B_2, C_1, C_2$ .

В свою очередь функция А выражается в следующем виде:

$$A = O \vee (M_{n1} \vee M_{n2} \vee \dots \vee M_{nn}) \vee (M_{011} \vee M_{012} \vee M_{021} \vee M_{022}) \vee [(M_{011} \vee M_{012}) \vee \dots \vee (M_{0n1} \vee M_{0n2})]$$

Приведенная блок-схема событий, определяющих вероятность травми-

рования работающих при эксплуатации картофелеуборочного агрегата, математически представленная методами булевой алгебры, позволит моделировать различные травмоопасные ситуации, связанные с устранением технологических отказов для прогноза вероятности травмирования А, если известны вероятности элементарных событий  $O, M_{н1}, M_{н2}, M_{o11}, M_{o12}, M_{o21}, M_{o22}, M_{o11}, M_{o12}, M_{o21}, M_{o22}, M_{on1}, M_{on2}$ .

Модель управления активной безопасностью картофелеуборочного агрегата КПК- 2 -01 представлена на рис.3.3.

На схеме (рис.3.3) :  $V_d(t), P_{o1}(t), P_{o2}(t), P_{o3}(t), \dots P_{on}(t)$ , - возмущающий и выходные процессы изменения рабочей скорости и вероятности технологических отказов картофелеуборочного агрегата при нахождении операторов в опасных зонах машин срабатывания соответствующей предохранительной муфты. Возмущающий процесс  $V_d(t)$  определяет уровень активной безопасности и степень выполнения агрегатом и оператором технологического процесса при обеспечении требуемой производительности и качества работ.

Параметры выходных процессов  $P_{o1}(t), P_{o2}(t), P_{o3}(t), \dots P_{on}(t)$  определяются вероятностно-статистическими оценками случайной последовательности дискретных значений  $P_{oi}$ , полученным согласно соотношениям:

$$\begin{aligned}
 P_{o1i} &= t_{o1i} / (T_{см} - \sum_{i=1}^m t_{o1i}), \\
 P_{o2i} &= t_{o2i} / (T_{см} - \sum_{i=1}^m t_{o2i}), \\
 P_{o3i} &= t_{o3i} / (T_{см} - \sum_{i=1}^m t_{o3i}), \\
 &\dots \quad \dots \quad \dots \\
 P_{oni} &= t_{oni} / (T_{см} - \sum_{i=1}^m t_{oni}),
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

где  $T_{см}$  – общее время смены, ч;

$t_{on\ i}$  – продолжительность устранения  $i$  –го технологического отказа картофелеуборочного агрегата, ч.

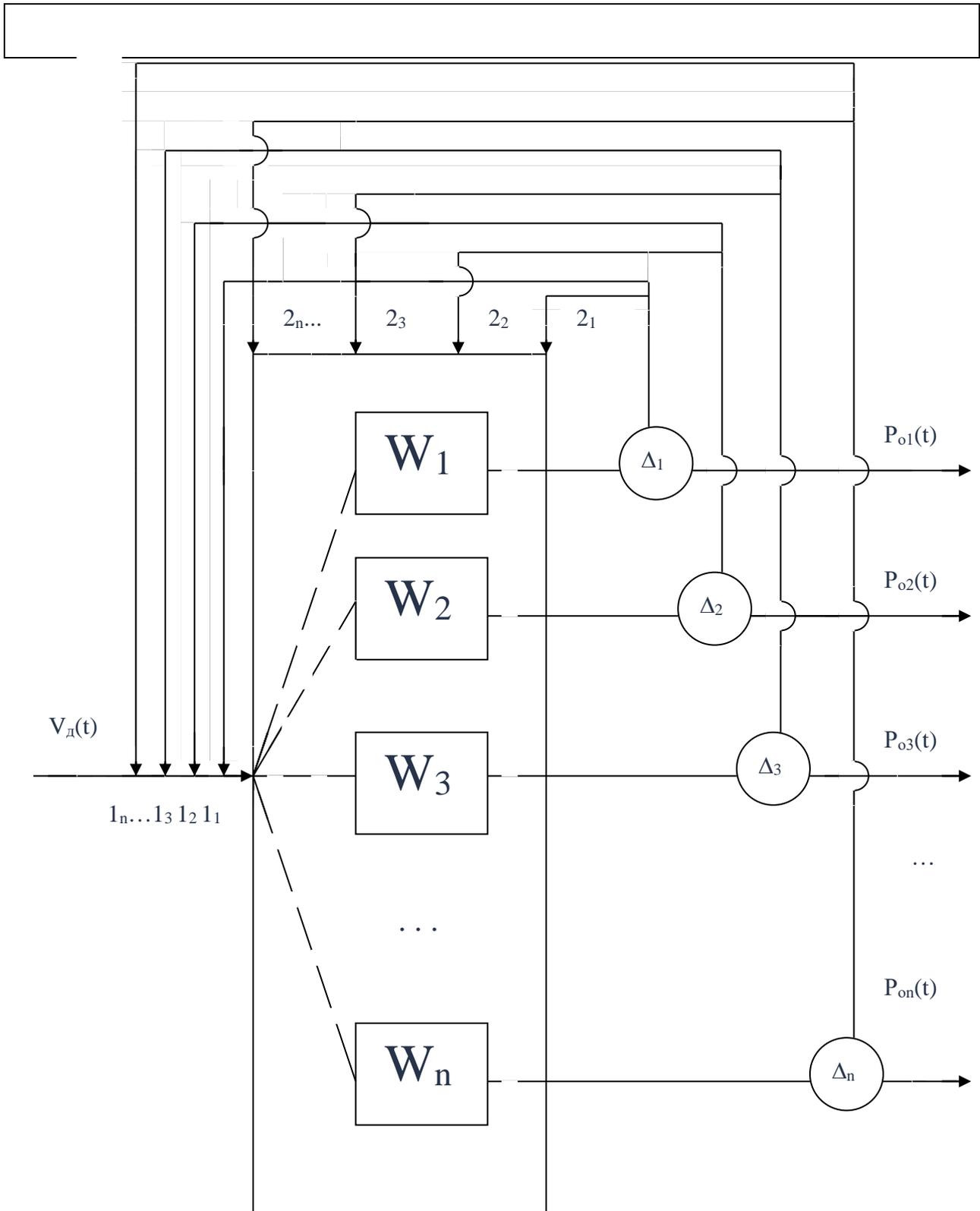


Рис.3.3. Модель управления активной безопасности картофелеуборочного агрегата МТЗ-82+КПК

$m$  – количество технологических отказов. Обратные связи  $1_1 \div 1_n, 2_1 \div 2_n$  характеризуют управление активной безопасностью с целью соблюдения оптимального допусков  $\Delta_1 \div \Delta_n$  на отклонение параметров  $P_{o1} \div P_{on}$  от настроенного за счет:

- влияния на параметры технологического процесса картофелеуборочного агрегата за счет соблюдения эксплуатационных допусков  $\Delta_{э1} \div \Delta_{эn}$ ;

- повышения эффективности технических методов и средств охраны труда за счет соблюдения исполнительных допусков  $\Delta_{и1} \div \Delta_{ин}$ .

Операторы  $W_1 \div W_n$  динамической системы в трудоохранной науке по своему логическому смыслу представляют собой рейтинги безопасности или амплитудно-частотные характеристики активной безопасности  $[R_{б1}(\omega)]^2 \div [R_{бn}(\omega)]^2$  при устранении технологических отказов в опасных зонах изучаемых машин.

В случае нормального распределения ординат процессов  $V_d(t)$  и  $P_{o1}(t) \div P_{on}(t)$ , принадлежности их к классу стационарных и линейности модели для управления активной безопасности картофелеуборочного агрегата нами используется метод идентификации, основанный на анализе свойств динамической системы, характеризующихся соотношением спектральных плотностей процессов на входе и выходе.

Для практической идентификации одномерной линейной системы используются следующие соотношения:

$$\begin{aligned}
 r_{б1}(i\omega) &= S_{P_{o1} V_d}(\omega) / S_{P_{o1}}(\omega), \\
 r_{б2}(i\omega) &= S_{P_{o2} V_d}(\omega) / S_{P_{o2}}(\omega), \\
 r_{б3}(i\omega) &= S_{P_{o3} V_d}(\omega) / S_{P_{o3}}(\omega), \\
 &\dots \qquad \dots \\
 r_{бn}(i\omega) &= S_{P_{on} V_d}(\omega) / S_{P_{on}}(\omega);
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}
[R_{\delta 1}(\omega)]^2 &= S_{P_{o1}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \\
[R_{\delta 2}(\omega)]^2 &= S_{P_{o2}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \\
[R_{\delta 3}(\omega)]^2 &= S_{P_{o3}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \\
&\dots \qquad \dots \\
[R_{\delta n}(\omega)]^2 &= S_{P_{on}}(\omega) / S_{V_d}(\omega),
\end{aligned}
\tag{3.3}$$

где  $r_{\delta 1}(i\omega)$ ,  $r_{\delta 2}(i\omega)$ ,  $r_{\delta 3}(i\omega)$ , + ...  $r_{\delta n}(i\omega)$ , - частотные характеристики активной безопасности картофелеуборочного агрегата при настройках соответствующих предохранительных муфт 1,2,3, + ... + n;

$[R_{\delta 1}(\omega)]^2$ ,  $[R_{\delta 2}(\omega)]^2$ ,  $[R_{\delta 3}(\omega)]^2$  ...  $[R_{\delta n}(\omega)]^2$  - амплитудно-частотные характеристики активной безопасности картофелеуборочного агрегата при настройках соответствующих предохранительных муфт 1,2,3, + ... + n;

$S_{V_d}(\omega)$ ,  $S_{P_{o1}}(\omega)$ ,  $S_{P_{o2}}(\omega)$ ,  $S_{P_{o3}}(\omega)$ , ...  $S_{P_{on}}(\omega)$ , - спектральные плотности процессов  $V_d(t)$  и  $P_{o1}(t)$  -  $P_{on}(t)$  при настройках соответствующих предохранительных муфт 1,2,3, + ... + n;

$S_{P_{o1} V_d}(\omega)$ ,  $S_{P_{o2} V_d}(\omega)$ ,  $S_{P_{o3} V_d}(\omega)$ , ...  $S_{P_{on} V_d}(\omega)$  - взаимные спектральные плотности процессов  $V_d(t)$  и  $P_o(t)$  при настройках соответствующих предохранительных муфт 1,2,3, + ... + n;

Полученные амплитудно-частотные характеристики  $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$  могут быть аппроксимированы выражениями вида:

$$[R_{B1}(\omega)]^2 = \frac{(\alpha_1 \omega^2 + 1)K_1^2}{C_{11} \omega^4 + C_{21} \omega^2 + 1},$$

$$[R_{B2}(\omega)]^2 = \frac{(\alpha_2 \omega^2 + 1)K_2^2}{C_{12} \omega^4 + C_{22} \omega^2 + 1},$$

$$[R_{B_3}(\omega)]^2 = \frac{(\alpha_3 \omega^2 + 1)K_3^2}{C_{1_3} \omega^4 + C_{2_3} \omega^2 + 1}, \quad (3.4)$$

...

$$[R_{B_n}(\omega)]^2 = \frac{(\alpha_n \omega^2 + 1)K_n^2}{C_{1_n} \omega^4 + C_{2_n} \omega^2 + 1};$$

...

$$[R_{B_1}(\omega)]^2 = \frac{(d_{1_1} \omega^4 + d_{2_1} \omega^2 + 1)K_1^2}{C_{0_1} \omega^6 + C_{1_1} \omega + C_{2_1} \omega^2 + 1},$$

$$[R_{B_2}(\omega)]^2 = \frac{(d_{1_2} \omega^4 + d_{2_2} \omega^2 + 1)K_2^2}{C_{0_2} \omega^6 + C_{1_2} \omega + C_{2_2} \omega^2 + 1},$$

$$[R_{B_3}(\omega)]^2 = \frac{(d_{1_3} \omega^4 + d_{2_3} \omega^2 + 1)K_3^2}{C_{0_3} \omega^6 + C_{1_3} \omega + C_{2_3} \omega^2 + 1},$$

...

...

(3.5)

$$[R_{B_n}(\omega)]^2 = \frac{(d_{1_n} \omega^4 + d_{2_n} \omega^2 + 1)K_n^2}{C_{0_n} \omega^6 + C_{1_n} \omega + C_{2_n} \omega^2 + 1},$$

которым соответствуют передаточные функции:

$$W_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{2_1} S + 1}{T_{2_1}^2 S^2 + T_{3_1} S + 1},$$

$$W_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{22}S + 1}{T_{22}^2 S^2 + T_{32}S + 1},$$

$$W_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{23}S + 1}{T_{23}^2 S^2 + T_{33}S + 1}, \quad (3.6)$$

$$\dots$$

$$W_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{2n}S + 1}{T_{2n}^2 S^2 + T_{3n}S + 1};$$

$$W_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{11}^2 S^2 + \tau_{21}S + 1}{T_{11}^3 S^2 + T_{21}^2 S^2 + T_{31}S + 1},$$

$$W_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{12}^2 S^2 + \tau_{22}S + 1}{T_{12}^3 S^2 + T_{22}^2 S^2 + T_{32}S + 1},$$

$$W_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{13}^2 S^2 + \tau_{23}S + 1}{T_{13}^3 S^2 + T_{23}^2 S^2 + T_{33}S + 1}, \quad (3.7)$$

$$\dots$$

$$W_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{1n}^2 S^2 + \tau_{2n}S + 1}{T_{1n}^3 S^2 + T_{2n}^2 S^2 + T_{3n}S + 1}.$$

где  $C_1 = T_2^4; C_2 = T_3^2 - 2T_2^2; C_1^1 = T_2^4 - 2T_3T_1^3; d = \tau_2^2; d_1 = \tau_1^4; d_2 = \tau_2^2 - 2\tau_1^2;$   
 $\tau_1, \tau_2, T_1, T_2, T_3 -$

постоянные, имеющие размерность времени;

$K$  - коэффициент усиления.

Анализ амплитудно-частотных характеристик активной безопасности  $[R_{61}(\omega)]^2 \div [R_{6n}(\omega)]^2$  предполагает установление зависимостей коэффициен-

тов усиления  $K^2$  и постоянных коэффициентов  $d_1, d_2, c_0, c_1, c_2$  от факторов, характеризующих активную безопасность картофелеуборочного агрегата. На основании экспертного опроса механизаторов и поисковых исследований таким фактором является момент регулировки предохранительных муфт комбайнов. На практике механизаторы в основе случаев пользуются настройками предохранительных муфт лишь для того, чтобы их затянуть до полного схождения витков пружин, что соответствует отсутствию муфты. В этом случае при срабатывании одной из муфт вся силовая цепь от вала приема мощности до срабатываемой муфты продолжает работать, в результате чего происходит забивание или поломка рабочих органов, которые не имели отношение к срабатываемой муфте, тем самым увеличивая время устранения технологического отказа. Кроме того, полное затягивание предохранительной муфты содействует более серьезным поломкам при эксплуатации агрегатов в условиях повышенных засоренности и влажности почвы. Если предохранительная муфта затянута слабо, то она срабатывает неоправданно часто, что снижает производительность агрегата. Необходимо также отметить, что одновременно сильное затягивание главной предохранительной муфты и слабое затягивание промежуточной муфты и наоборот, создают неравномерные нагрузки на рабочие органы, что также приводит к более частому появлению технологических отказов. В настоящем исследовании рациональной настройкой предохранительных муфт считается такая, при которой время устранения технологических отказов  $t_{on i}$  при нахождении операторов в опасных зонах агрегатов будет минимальным ( $t_{on i} \rightarrow \min$ ). При этом оптимальная зависимость  $P_o(t) = f(n, t)$  достигается за счет:

- сокращения количества технологических отказов  $n$ ;
- изменения времени устранения технологических отказов  $t_{on i}$  при неизменном их количестве  $n$ ;
- одновременного изменения  $t_{on i}$  и  $n$ .

В связи со случайным характером распределения отказов по отдельным исполнительным органам, а также вероятностью устранения технологиче-

ских отказов в опасных зонах картофелеуборочного агрегата МТЗ-82+КПК-2-01, настройки предохранительных муфт комбайна по условию максимальной безопасности операторов определяются исходя из вероятностно-статистических характеристик процессов  $P_{o1}(t) \div P_{on}(t)$ , которые в свою очередь зависят от вероятностно-статистических характеристик процесса  $V_d(t)$  и амплитудно-частотных характеристик  $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$  активной безопасности машины.

Стратегия оптимизации амплитудно-частотных характеристик активной безопасности  $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$  картофелеуборочного агрегата определяется исходя из физического смысла функции спектральных плотностей  $S_{P_{o1}}(\omega) \div S_{P_{on}}(\omega)$  процессов  $P_{o1}(t) \div P_{on}(t)$ , по кривым которым можно определить преобладающий спектр  $\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}$  колебаний параметра и соответствующую ему дисперсию процесса. Исходя из логической сущности процессов  $P_{o1}(t) \div P_{on}(t)$ , частоты  $\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}$  характеризуют преобладающую частоту отказов, а величины  $D_{\delta 1} - D_{\delta n}$  – длительности сохранения отказов. Тогда цель оптимизации  $\{(\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}) \rightarrow 0; (D_{\delta 1} \div D_{\delta n}) \rightarrow \min\}$  достигается минимизацией операторов  $W_1 \div W_n$  по модулю, где  $\omega_{\delta}$  – частота, соответствующая пику спектральной плотности  $S_{P_o}(\omega)$  процесса  $P_o(t)$ .

Условие  $(\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}) \rightarrow 0$  соответствует

$$\begin{aligned}
 [R_{\delta 1}(0)]^2 &= K_1^2 = f(\Pi_{H1}), \\
 [R_{\delta 2}(0)]^2 &= K_2^2 = f(\Pi_{H2}), \\
 [R_{\delta 3}(0)]^2 &= K_3^2 = f(\Pi_{H3}), \\
 \dots & \quad \dots \quad \dots, \\
 [R_{\delta n}(0)]^2 &= K_{1n}^2 = f(\Pi_{Hn}),
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

а условие  $(D_{\delta 1} \div D_{\delta n}) \rightarrow \min$  соответствует

$$\begin{aligned}
 [R'_{\delta 1}(\omega)]^2 &= 0 \\
 [R'_{\delta 2}(\omega)]^2 &= 0
 \end{aligned}$$

$$[R'_{63}(\omega)]^2 = 0 \quad (3.9)$$

...

$$[R'_{6n}(\omega)]^2 = 0$$

где  $[R'_{61}(\omega)]^2 \div [R'_{6n}(\omega)]^2$  – первые производные амплитудно-частотных характеристик активной безопасности картофелеуборочного агрегата соответственно по  $\Pi_{н1} \div \Pi_{нн}$ .

Сопоставляя значения  $[R_{61}(\omega)]^2 \div [R_{6n}(\omega)]^2$  оптимальные по первому и второму условиям цели, определяются точки  $A_1 \div A_n$  соответствующие желательным регулировкам предохранительных муфт  $\Pi_{н1}^{ж} \div \Pi_{нн}^{ж}$

Полученные кривые зависимостей  $\Pi_{н1} \div \Pi_{нн}$  от коэффициентов  $K_1^2 - K_n^2, d_{11} - d_{1n}, d_{21} - d_{2n}, c_{01} - c_{0n}, c_{11} - c_{1n}, c_{21} - c_{2n}$  представляют собой в основном уравнения не ниже 3 – го порядка, что создает сложности при подстановке этих зависимостей в выражения (3.4, 3.5) при определении оптимальных значений регулировок предохранительных муфт  $\Pi_n$  через приравнивание к нулю первых производных функций  $[R_{61}(\omega)]^2 \div [R_{6n}(\omega)]^2$  соответственно по  $\Pi_{н1} \div \Pi_{нн}$ . Для этого проводят аппроксимацию уравнений коэффициентов  $K_1^2 - K_n^2, d_{11} - d_{1n}, d_{21} - d_{2n}, c_{01} - c_{0n}, c_{11} - c_{1n}, c_{21} - c_{2n}$  в зависимости от значений регулировок муфт  $\Pi_{н1} - \Pi_{нн}$ , по которым определяются значения  $[R_{61}(\omega)]^2 \div [R_{6n}(\omega)]^2$  в зависимости от  $\Pi_{н1} \div \Pi_{нн}$ .

Задача состоит в установлении возможности минимизации оценок математического ожидания  $M_p$  и дисперсии  $D_{p_0}$  процесса  $P_0(t)$ , а также – получения благоприятного спектра дисперсии процесса в соответствии с целевыми функциями

$$(\omega_{31} \div \omega_{3n}) \rightarrow 0; (D_{31} \div D_{3n}) \rightarrow \min ,$$

где  $\omega_3$  – частота, соответствующая пику спектральной плотности  $S_{P_0}(\omega)$  про-

цесса  $P_o(t)$ .

Для решения поставленной задачи устанавливается зависимость между средними значениями  $M_p$  и  $M_v$ . Через приравнивание к нулю первой производной  $M_p = f(M_v)$  определяется среднее значение параметра технологического процесса  $V_{дн}$ , соответствующее  $M_p \min$  и являющееся оптимальным (настроечным) по математическому ожиданию.

Обосновываются эксплуатационные допуски на отклонение реализаций процесса  $V_d(t)$  картофелеуборочного агрегата от настроечного уровня  $V_{дн}$  и определяются спектральные плотности  $S_{V_{дн}}(\omega)$ ,  $S_{V_{дн} + \Delta_3}(\omega)$ ,  $S_{V_{дн} - \Delta_3}(\omega)$ , соответственно при настроечном, верхнем и нижнем допуске значениях. Для этого исходя из искомым значений спектральных плотностей  $S_{V_d}(\omega)$ , строятся зависимости спектральной плотности процесса  $V_d(t)$  от средних значений  $V_d$ , а затем с учетом эксплуатационных допусков получают  $S_{V_{дн}}(\omega)$ ,  $S_{V_{дн} + \Delta_3}(\omega)$ ,  $S_{V_{дн} - \Delta_3}(\omega)$ . В этом случае целесообразно проведение нескольких экспериментов при различных, близких к настроечному, режимах  $V_d$ .

С учетом полученных зависимостей коэффициентов аппроксимирующих выражений амплитудно-частотных характеристик  $K^2$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  от параметра настройки предохранительных муфт  $\Pi_n$  рассчитываются  $[R_6(\omega)]_p^2$  при рациональном значении  $\Pi_n$ , верхнем  $\Pi_n + \Delta_n$   $[R_6(\omega)]_+^2$  и нижнем  $\Pi_n - \Delta_n$   $[R_6(\omega)]_-^2$  его уровнях.

Для выбора минимального  $\sigma_{P_o \min}$  и максимального  $\sigma_{P_o \max}$  значения среднего квадратического отклонения  $\sigma_{P_o}$  процесса  $P_o(t)$  рассчитываются его значения при всех возможных сочетаниях параметров  $V_d(t)$  и  $[R_6(\omega)]^2$  в пределах соответствующих полей допусков из соотношений:

$$\sigma_{P_o1} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{дн}}(\omega) [R_6(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po2} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t}}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_+^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po3} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t}}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po4} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} + \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po5} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} + \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_+^2 d\omega}, \quad (3.10)$$

$$\sigma_{Po6} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} + \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po7} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} - \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po8} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} - \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_+^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po9} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{D}t} - \Delta_s}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega}.$$

Гарантированные от превышения уровня параметра  $P_0$  рассчитываются по формуле:

$$P_{\Delta} = 0,5 + \Phi [(\Delta - M_{P_0}) / \sigma_{P_0}], \quad (3.11)$$

где  $P_{\Delta}$  - заданная вероятность не превышения уровня  $\Delta$ . Для обеспечения более надежной оценки уровня активной безопасности картофелеуборочного агрегата принимаем  $P_{\Delta} = 0,99$ ;

$M_{P_0} = P_{0 \min}$  – настроечный уровень параметра  $P_0$ ;

$\Phi$  – Функция Лапласа.

По таблице функций Лапласа найдем

$$\Phi [(\Delta - M_{P_0}) / \sigma_{P_0}] = 0,99 - 0,5 = 0,49,$$

т.е.  $(\Delta - M_{P_0}) / \sigma_{P_0}$  должно быть равно 2,6, откуда

$$\Delta = 2,6 \sigma_{P_0} + M_{P_0}. \quad (3.12)$$

Тогда оптимальный допуск при существующих картофелеуборочных комбайнах и применяемой технологии безопасности уровень  $P_0^{opt} = M_{P_0} = P_{0 \min}$ ;

допускаемый уровень

$$[\Delta] = 2,6 \sigma_{P_0 \min} + M_{P_0}, \quad (3.13)$$

предельно-допустимый уровень

$$[\Delta_{lim}] = 2,6 \sigma_{P_0 \max} + M_{P_0}. \quad (3.14)$$

Тогда односторонний экспозиционный допуск, который в нашем случае имеет смысл

$$\Delta = 2,6 \sigma_{P_0 \min} \quad (3.15)$$

Предельный экспозиционный допуск

$$\Delta_{lim} = 2,6 \sigma_{P_0 \max} \quad (3.16)$$

С учетом изложенного, для нестрогой, в математическом плане, оценки эффективности трудоохранной деятельности на стадии повышения активной безопасности могут быть применены оценки: отлично, хорошо, удовлетворительно. Отличной считается работа при  $P_o \leq P_{o \text{ min}}$ , хорошей – при  $[\Delta] \geq P_o \geq P_{o \text{ min}}$ , удовлетворительной -  $[\Delta_{\text{lim}}] \geq P_o \geq [\Delta]$ .

Идеальными считаются условия при  $P_o=0$ , но в условиях рядовой эксплуатации получить это невозможно. Как было указано, 20 % времени от полного времени смены операторы картофелеуборочных агрегатов находятся в опасных зонах при устранении технологических отказов, в т.ч. в зонах карданных валов, 1,63 % летальных травм в России происходит от захвата неогражденными карданными валами, в связи с этим второй уровень управления безопасностью будет связан с разработкой перспективных систем защиты работающих в изучаемой ситуации.

Второй уровень управления безопасностью труда в изучаемой ситуации основан на модели, представленной на рис. 3.4. На приведенной схеме:

$P_o(t)$  – процесс изменения вероятности технологических отказов картофелеуборочных машин в опасных зонах карданных валов;

$P_T(t)$  – процесс изменения параметра безопасности картофелеуборочного агрегата;

$\Delta^1$  – интегральный допуск на параметры процесса  $P_T(t)$ , значения которого находятся в зависимости от степени соблюдения исполнительного допуска  $\Delta'_i$  (обратная связь  $2'$ ), характеризующего качество управления безопасностью картофелеуборочных машин при устранении технологических отказов в зонах карданных валов.

Оператор  $W'$  динамической системы представляют собой амплитудно-частотную характеристику пассивной безопасности  $[r_6(\omega)]^2$  при устранении технологических отказов в опасных зонах карданных валов изучаемых машин.

Реализация данного уровня управления безопасностью происходит в зависимости от тяжести последствий несчастных случаев. Если имеют место травмы с временной нетрудоспособностью, то есть возможность получения вероятностно-статистических характеристик процессов  $P_o(t)$  и  $P_T(t)$ , по которым можно определить амплитудно-частотные характеристики пассивной безопасности  $[r_{\sigma}(\omega)]^2$  и параметры, определяющие их форму и модуль. Оптимизация параметров  $[r_{\sigma}(\omega)]^2$  достигается по критериям  $P_T \rightarrow \min$ ,  $\sigma_{P_T} \rightarrow \min$ .

При инвалидном и летальном исходах получение реализаций процесса  $P_T(t)$  невозможно, в связи с этим необходимо установление математического описания зависимости  $P_T = f(P_o)$ . Приняв предпосылку о том, что динамическая система (рис.3.4) работает без запаздывания, располагая реализациями процесса  $P_o(t)$  и зависимостью  $P_T = f(P_o)$ , можно рассчитать параметры процесса  $P_T(t)$ , определить допуски на его протекание и оценить эффективность системы управления пассивной безопасностью картофелеуборочных агрегатов.

Для получения зависимости  $P_T = f(P_o)$  вероятности травмирования карданными валами от величины вероятности технологических отказов необходимо проведение экспериментальных исследований применительно к конкретным условиям работы карданного вала при рядовой эксплуатации картофелеуборочного агрегата. Эксперимент проводится на карданном вале, защищенном надежным кожухом, исключающим травмирование работающих. До проведения эксперимента вся длина защитного кожуха разбивается и размечается на равные участки. При устранении технологических отказов исследователь наблюдает за траекторией рабочих перемещений оператора картофелеуборочного агрегата (штриховые линии), регистрируют в журнале полевого опыта количество возможных контактов с карданным валом при условии отсутствия защитного кожуха. Условная проекция на кожух карданного вала точки траектории движения оператора, находящейся на минимальном расстоянии от кожуха, определяет зону, в которой может возникнуть изучаемая нами травмоопасная ситуация.

Построив вариационные ряды и определив частоты  $P_{oi}$  попадания оператора в конкретный разряд длины неогражденной зоны карданного вала, определяется максимальная вероятность травмирования, которая соответствует среднему количеству несчастных случаев от захвата карданными валами. При достаточно большом значении  $P_o$  операторы могут иметь контакт с карданным валом по всей его длине, в связи с этим частота попадания в этой зоне ( $B_n$ ) соответствует всем случаям нахождения операторов в любой из размеченных зон, т.е.  $P_{on} = P_T = 1$ . При меньшем значении  $P_o$  частота контактов с карданным валом по всей длине уменьшается, поэтому для каждой конкретной вероятности технологических отказов  $P_{oi}$  соответствует определенная зависимость  $P_T = f(B)$ , приведенная на рис.3.5, а. При необходимости можно построить зависимости  $P_T = f(P_o)$  при различной длине незащищенной зоны карданного вала (рис.3.5,б), которые можно рассматривать как исходные требования к проектированию конструкций и определению параметров систем “защитный кожух – карданный вал”.

Существующие и применяемые средства защиты работающих от карданных валов на данном этапе не обеспечивают безопасную эксплуатацию картофелеуборочных агрегатов, т.к. позволяют их эксплуатировать без применения защитных ограждений карданных валов.

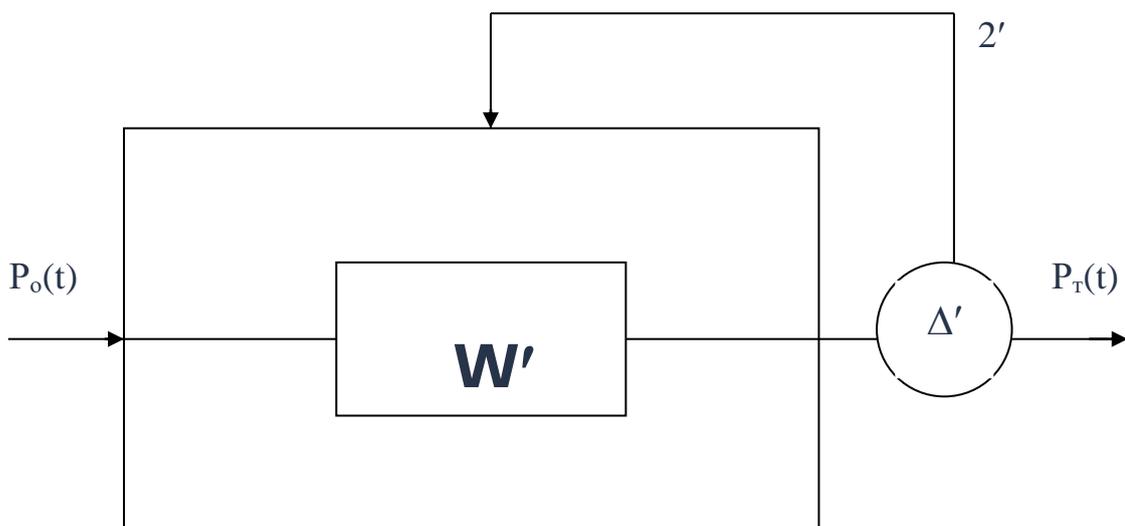
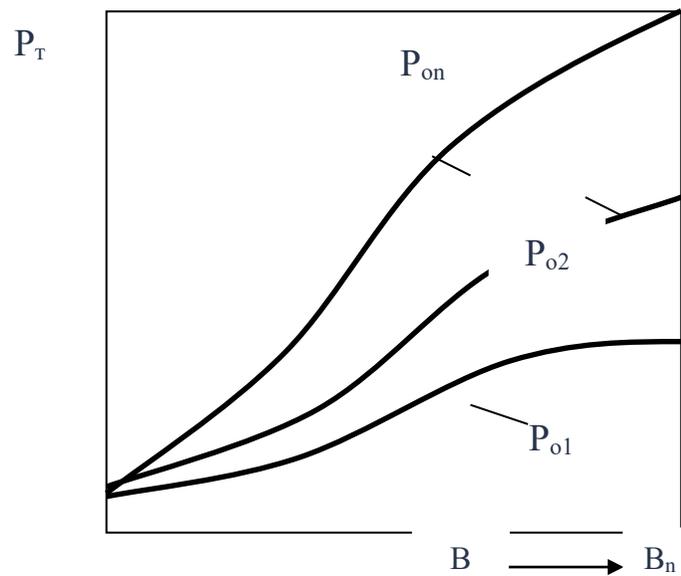
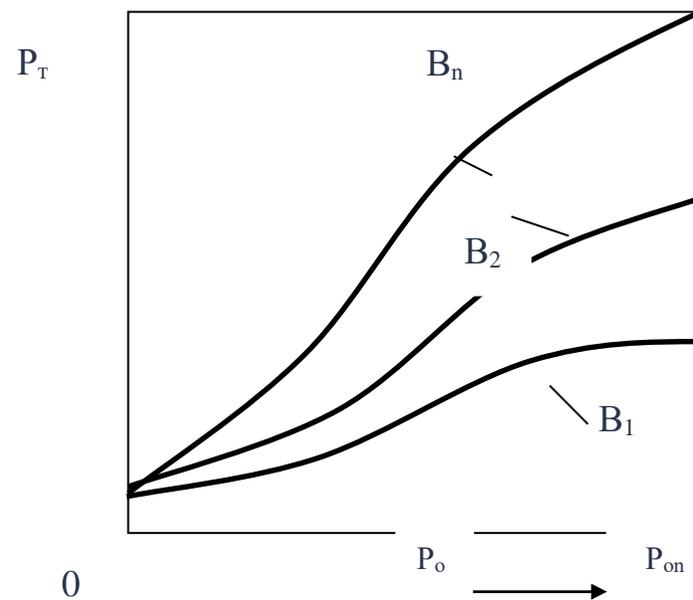


Рис.3.4. Модель управления пассивной безопасности картофелеуборочного агрегата МТЗ-82+КПК-2-01



a)



б)

Рис.3.5. Схема зависимостей  $P_T = f_1(B)$  при различных значениях  $P_o$  (а) и  $P_T = f_2(P_o)$  при различных значениях  $B$  (б)

## 2 Практическая часть

Обоснование предлагаемой конструкции и расчет параметров предохранительного устройства карданного вала

При выборе перспективной конструкции были учтены разработанная классификация предохранительных устройств карданных валов, их преимущества и недостатки и кинематика картофелеуборочного агрегата.

Устройство (рис. 3.6) состоит из валов-вилок 1 и 2, связанных с карданным валом агрегата и шлицевой втулки 3, сопрягаемой своей шлицевой поверхностью с наружной шлицевой поверхностью концов обоих валов-вилок. На наружной поверхности шлицевой втулки стопорным кольцом 4 жестко закреплена внутренняя обойма подшипника качения 5, а наружная обойма зафиксирована крышкой 6 во внутренней проточке фланца включения 7.

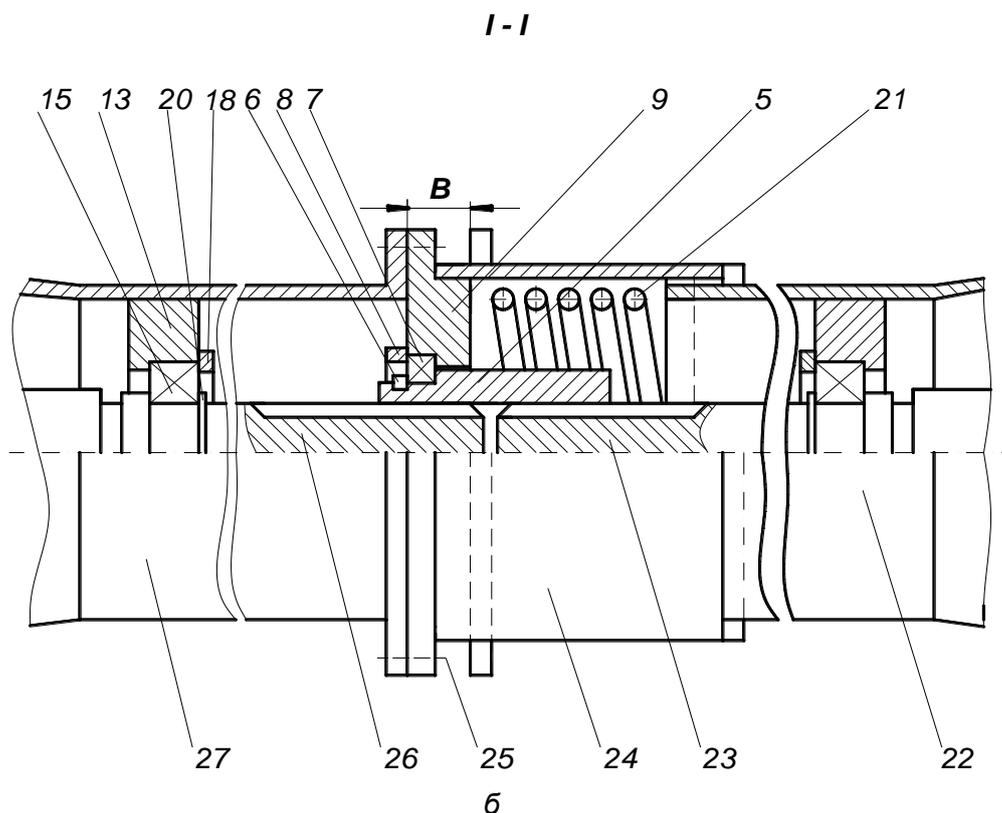


Рис.3.6: а, б – Предохранительное устройство карданного вала на базе серийного защитного кожуха:

а – общий вид; б – вид 1-1 (механизм включения-выключения)

Защитный кожух состоит из двух трубчатых элементов 8 и 9, соединенных с карданными валами и третьего трубчатого элемента 10, связанного с фланцем включения 7, подпружиненным (пружина 11) относительно карданного вала исполнительной машины, причем внутренняя поверхность третьего трубчатого элемента 10 сопряжена с наружной поверхностью второго трубчатого элемента 9 с возможностью осевого перемещения во время включения и выключения устройства.

Работает предохранительное устройство карданного вала следующим образом. При подсоединении трактора к комбайну шлицевая втулка входит в зацепление с карданным валом трактора и фиксируется посредством жесткого болтового соединения фланца включения с первым трубчатым элементом защитного кожуха карданного вала трактора. Таким образом передача крутящего момента от ВОМ комбайну обеспечивается только при наличии защитного кожуха. При снятии защитного кожуха за счет отсоединения первого трубчатого элемента карданного вала трактора с фланцем включения и выхода из зацепления шлицевой втулки с карданным валом трактора прекращается передача крутящего момента от ВОМ комбайну.

Обеспечение безопасности труда операторов агрегата в опасной зоне рассматриваемого карданного вала основано на принципе недоступности. Прежде чем рассмотреть условия обеспечения "недоступности" прогнозируется вероятность возникновения опасных ситуаций. Из рис. 3.6 видно, что сочленение карданных валов тяговой и рабочей машины без установки защитного кожуха невозможно. Но при этом необходимо нейтрализовать возможную опасность, возникающую при попытке оператора снять защитный кожух при не выключенном ВОМ трактора.

Такая попытка, хотя и явно противоречивая требованиям безопасности, логична при остановленном агрегате. В это время на карданном вале промежуточного соединения тяговой и рабочей машин действует момент  $M_{xx}$ , достаточный для привода рабочих органов ККУ-2А без нагрузки. Опасная ситуация состоит в следующем. Комбайнер или тракторист предпринимают

попытку сдвинуть элемент 10 защитного кожуха при не выключенном ВОМ трактора. Чтобы сдвинуть элемент 10 необходимо освободить болты крепления к элементу 9 защитного кожуха. Это делается без каких-либо помех и повышенной опасности. При сдвигании же элемента 10 между ними и элементом 8 возникает опасная зона, ширина которой равна перемещению сдвигу  $V'$  элемента 10.

В целях обеспечения безопасности операторов картофелеуборочного агрегата, в данной ситуации необходимо создать искусственное сопротивление  $Q$  сдвигу элемента 10 защитного кожуха карданного вала.

В целях обеспечения безопасности операторов картофелеуборочного агрегата необходимо создать искусственное сопротивление  $Q$  сдвигу элемента 10 защитного кожуха карданного вала

$$Q = F_{\text{тр}} + P, \quad (3.17)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – усилие трения в парах шлицевой вал – шлицевая втулка, возникающее при осевом сдвиге втулки под нагрузкой  $M_{\text{хх}}$  ;

$P$  – сила пружины 11 (рис.3.6).

Усилие трения

$$F_{\text{тр}} = \mu' \times P_o, \quad (3.18)$$

где  $\mu' = 0,06$  – коэффициент трения по стали со смазкой;

$P_o = M_{\text{хх}}/r_d$  – окружное усилие в шлицевой паре;

$r_d$  – радиус делительной окружности шлицевого соединения.

При определении параметров пружины исходили из норматива поднимаемого и переносимого на руках груза для мужчин  $R= 50$  кг. Из этого норматива следует, что сила пружины 11 (рис. 3.6) в конце ее сжатия, т.е. в нормальном положении элемента 10 при сочленении ВОМ с ВПМ должно относительно легко преодолеваться механизатором с некоторыми среднес-

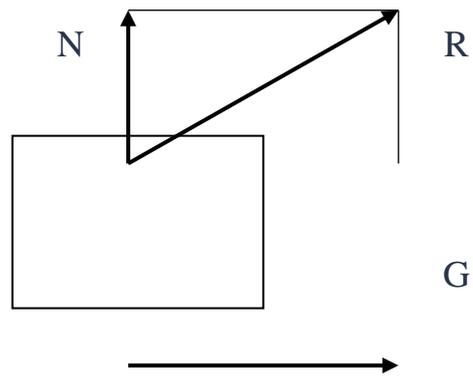


Рис. 3.7. План сил при снятии защитного кожуха карданного вала при включенном ВОМ.

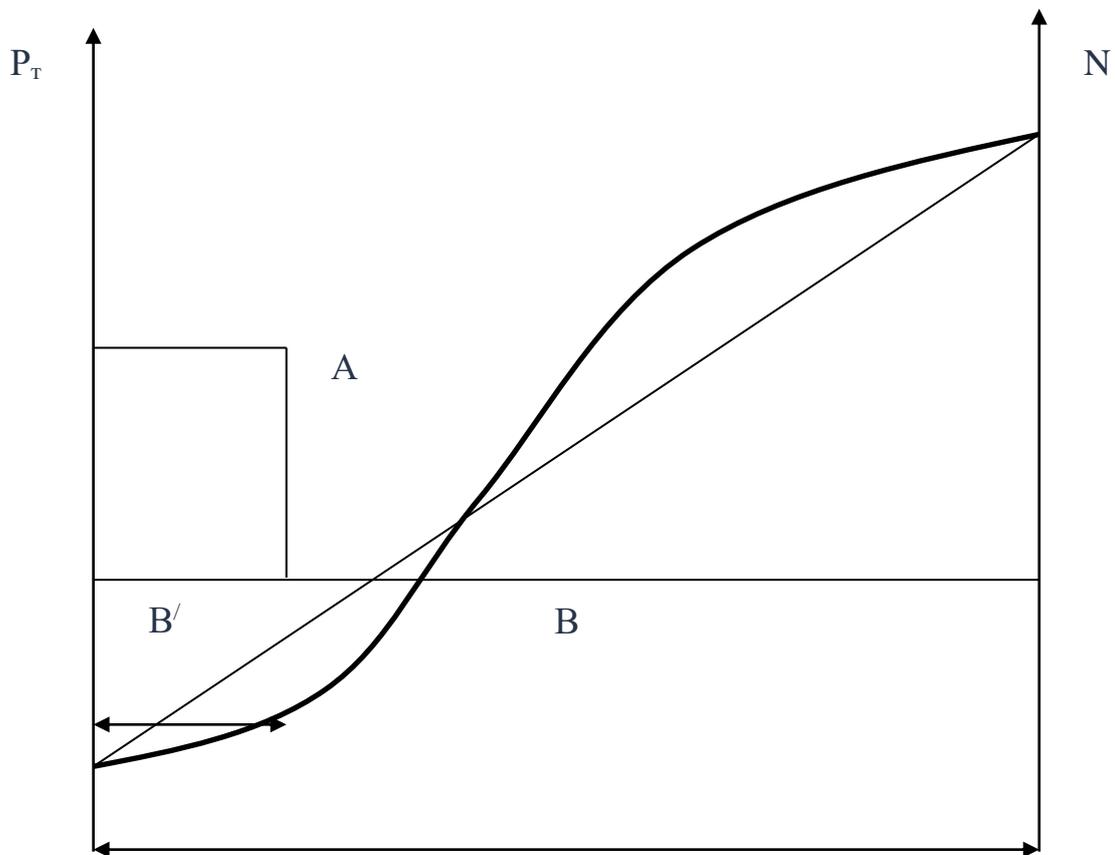


Рис. 3.8. Схема определения вероятности травмирования карданными валами

статистическими данными развития. Расчеты параметров пружины производятся по известной методике, например, которая показана в дальнейшем изложении.

Исходные данные для расчета:  $D = 104,5$  мм - наружный диаметр пружины, определяемый как средний диаметр элемента 9 защитного кожуха  $D_{14} = 100$  мм плюс выбранный диаметр проволоки пружины  $d = 4,5$  мм;

$Z_1 = 2,2$  кг/мм - жесткость одного витка пружины сжатия 10 класса 1 разряда по ГОСТ 13771- 68 с параметрами  $D = 104,5$  мм,  $h = 4,5$  мм;

$P_0 = 0$  - сила пружины при предварительной деформации;

$P_2 = 50$  кг - рабочий ход пружины при рабочей деформации;

$h = 50$  мм - рабочий ход пружины, равный половине длины шлицевой втулки 3 (рис.3.6).

Расчет: жесткость пружины

$$Z = (P_2 - P_1) / h = 1 \text{ кг/мм.} \quad (3.19)$$

Число рабочих витков пружины

$$n = Z_1 / Z = 2,2, \quad (3.20)$$

Полное число витков пружины

$$N_1 = n + n_2 \approx 0,6, \quad (3.21)$$

где  $n_2 = 3$  - число опорных витков.

Высота пружины при максимальной деформации

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_3) d = 18 \text{ мм,} \quad (3.22)$$

где  $n_3$  - число дошлифованных витков.

Максимальную деформацию пружины при соприкосновении витков примем исходя из конструктивных соображений  $F_3 = 150$  мм.

Предварительная деформация пружины

$$F_1 = P_1 / Z = 0. \quad (3.24)$$

Рабочая деформация пружины

$$F_2 = P_2 / Z = 50\text{мм}. \quad (3.25)$$

Высота пружины в свободном состоянии

$$H_0 = H_3 + F_3 = 168\text{мм}. \quad (3.26)$$

При нормально сочлененных ВОМ и ВПМ высота пружины

$$H_{01} = H_0 - P_1 = 168\text{мм}. \quad (3.27)$$

При полном разрыве связи между ВОМ и ВПМ высота пружины

$$H_{02} = H_0 - F_2 = 100\text{мм}. \quad (3.28)$$

Таким образом, получены все необходимые данные для выбора и изготовления пружины предохранительного устройства, а также для оценки надежности защиты работающих в зоне карданного вала при попытке оператора снять элемент 8 защитного кожуха карданного вала с неотключенным ВОМ.

План сил при данной опасной ситуации показан на рис. 3.7. На данном плане  $G = Q$ . Для того, чтобы сдвинуть элемент кожуха необходимо преодолеть силу  $G$ . Для этого усилие сжатия кожуха руками  $N$  должно создавать силу трения  $F_{\text{тр}}' \geq G$ . Тогда  $F_{\text{тр}}' \geq G = N \mu''$ . Откуда

$N \geq G / N \mu''$ , а результирующая сила

$$R = \sqrt{G^2 + G^2 / \mu''^2} = G\sqrt{1 + 1/\mu''^2}. \quad (3.29)$$

При известных  $M_{xx} = 45 \text{ Нм}$  и  $r_d = 15 \text{ мм}$  найдем, что  $P_0 = 300 \text{ кг}$ . При коэффициенте трения закаленной стали со смазкой  $\mu'' = 0,06$ ,  $P_0 = 18 \text{ кг}$ . Тогда  $G = 18 + P_{пр}$ .

Если ограничить значением  $50 \text{ кг}$ , соответствующем нормативу поднимаемого и переносимого груза для мужчин, и принять коэффициент трения  $\mu''$  кожи рук или рукавиц по стали  $0,5$ , то формула (3.29) после подстановки известных значений  $G$  и  $\mu''$  примет вид

$$50 = (18 + P_{пр})\sqrt{1 + 1/0,25},$$

откуда можно определить, что при усилении  $R = 50 \text{ кг}$ , затрачиваемом на сдвиг элемента 10 (рис.3.6) на пружину приходится усилие  $P_{пр} \approx 30 \text{ кг}$ . Тогда согласно характеристики пружины получим ширину незащищенной зоны  $B = 30 \text{ мм}$ .

Если принять предпосылку о линейном характере зависимости вероятности травмирования вследствие наматывания на карданный вал  $P_T$  от ширины опасной зоны  $B$  (см. кривую рис. 3.8), то можно определить вероятность травмирования при использовании предложенного предохранительного устройства графическим способом. Она определяется как проекция точки  $A$  на ось  $Y$ , соответствующую  $P_T$  или среднестатистическому количеству несчастных случаев с летальным исходом от наматывания на карданные валы  $N$ .

Линейное представление кривой  $P_T = f(B)$  при малой ширине незащищенной зоны карданного вала оправдано, поскольку дает завышенные значения вероятности травмирования операторов. Поэтому прогнозируемые по линейному графику  $P_T = f(B)$  позволяют гарантировать, что они не будут больше фактических.

Таким образом получен алгоритм оценки надежности предохранительных устройств карданных валов, но для его практического использования необходимо проверить правильность искомых предпосылок, относящихся к значениям коэффициентов трения  $\mu', \mu''$ , а также предельного значения нагрузки для мужчин. Поэтому предусмотрена соответствующая проверка.

Кроме этого необходимо провести расчеты предлагаемого предохранительного устройства на долговечность, которая ограничена сроком службы подшипникового узла. Для оценки долговечности подшипника необходимо провести следующие расчеты:

1. Определяется допустимый угол перекоса  $\theta_0$  в ненагруженном радиальном шарикоподшипнике. Его определяют как минимальный угол перекоса, при котором внутреннее кольцо может вращаться относительно наружного без возникновения напряжений в деталях подшипника

$$\theta_o \approx \left\{ 1 - \frac{g}{D_o} \left[ \frac{(2f_s - 1)D_w - \left(\frac{g_r}{4}\right)}{D_o + ((2f_s - 1)D_w) - \left(\frac{g_r}{2}\right)} + \frac{(2f_n - 1)D_w - \left(\frac{g_r}{4}\right)}{D_o - ((2f_n - 1)D_w) + \left(\frac{g_r}{2}\right)} \right] \right\}, \quad (5.36)$$

где  $g_p$  – радиальный зазор в подшипнике, мм;

$D_o$  – диаметр подшипника по центрам тел качения, мм;

$D_w$  – диаметр шарика, мм;

$f_b = r_b/D_w$ ,  $f_n = r_n/D_w$  – радиусы дорожек качения соответственно внутреннего и наружного колец, мм.

2. Определяется эквивалентная динамическая нагрузка, из-за которой возникает перекос:

$$P = X \times F_r \times V \times K_\delta \times K_T, \quad (3.30)$$

где  $K_6$  – коэффициент безопасности, зависящий от характера нагрузки;  
 $K_T$  – температурный коэффициент;  
 $F_r$  – радиальная нагрузка, Н;  
 $V$  – коэффициент вращения;  
 $X$  – коэффициент радиальной нагрузки.  
 3. Определяется отношение

$$C / (P \times f_o), \quad (3.31)$$

где  $C$  – грузоподъемность, Н;  
 $f_o$  – коэффициент несоосности;  
 $P$  – динамическая эквивалентная нагрузка, определяемая по формуле (4.37).

Коэффициент несоосности, определяется по формуле:

$$f_o = 2\sqrt{\theta / \theta_o}, \quad (3.32)$$

где  $\theta$  – фактический угол перекоса, мин;  
 $\theta_o$  – допустимый угол перекоса, мин.

. Расчеты для принятого предохранительного устройства карданного вала картофелеуборочного агрегата КПК-2-01 показали, что долговечность подшипникового узла составляет  $L_{10h} = 2350$  ч, что значительно превышает срок службы комбайна.

Выводы:

- разработанные блок-схемы событий, определяющие травмоопасность операторов картофелеуборочных агрегатов, математически представленные методами булевой алгебры, позволяют учесть все многообразие факторов, влияющих на вероятность травмирования при устранении технологических

отказов в зонах карданных валов, определить вероятность травмирования с использованием существующих и перспективных методов и средств охраны труда при известных вероятностях элементарных событий;

- для обеспечения пассивной безопасности труда получены экспериментальные экспоненциальные зависимости вероятности травмирования операторов от вероятности устранения технологических отказов  $P_T = f(P_0)$  при различных значениях ширины незащищенной зоны  $B'$  карданного вала, позволяющие оценить существующие средства защиты и рекомендуемые предохранительные устройства карданных валов.

- анализ существующих и разработанных конструкций предохранительных устройств, их классификация позволили рекомендовать устройство с повышенными эксплуатационными свойствами, надежностью работы, простотой конструкции, долговечность которых составляет 2350 ч, ширина незащищенной зоны карданного вала при выключенном ВОМ составляет 56 мм, при включенном ВОМ – 40 мм.

#### Список используемых источников

114. Статистическая динамика безопасности технологических систем АПК / В.С.Шкрабак, В.А.Елисейкин, Е.В.Пыханова, Т.И.Белова.-С.Пб., 1996.-365с.-Деп.в НИИТЭИагропром 23.09.96 № 183 ВС-96.

137. Елисейкин В.А., Белова Т.И., Бочарова Н.А. и др. Оценка влияния технологических забиваний средств механизации АПК на безопасность // Проблемы безопасности в АПК в условиях многоукладной экономики: Сб науч.тр. СПГАУ.-С.-Пб, 1995.- С.118-120.

138. Белова Т.И., Куплевацкий Н.М. Модель безопасного функционирования механизмов картофелеуборочного комбайна // Пути обеспечения безопасности жизнедеятельности в АПК: Сб науч.тр. СПГАУ.-С.-Пб, 1991.- С.86-87.

139. Шкрабак В.С., Елисейкин В.А., Белова Т.И. Повышение безопасности операторов средств механизации минимизацией опасных ситуаций и совершенствованием конструкций противонаматывающих устройств карданных валов // Охрана труда работников АПК в условиях перехода к рыночным отношениям: Сб.науч.тр. СПГАУ.-С.-Пб, 1992.-С.3-15.

140. Белова Т.И. и др. Теоретические основы повышения безопасности карданных валов картофелеуборочных машин.- С.-Пб., 1994.-39с.-Деп. в

НИИТЭагропром 19.12.94 № 139 ВС-94.

141. Шкрабак В.С., Елисейкин В.А., Белова Т.И. Особенности сертификации безопасности технологических систем агропромышленного комплекса. С.-Пб., 1995.-39с.-Деп. в НИИТЭагропром 05.07.95 № 139 ВС-95.

142. Белова Т.И. Минимизация травмоопасных ситуаций операторов картофелеуборочных агрегатов.-Инф.л. № 58-93.-Брянск: ЦНТИ, 1993.-4с.

143. Шкрабак В.С., Елисейкин В.А., Белова Т.И., Копылов Г.Н. Особенности мониторинга безопасности операторов сельскохозяйственной техники // Техника в сельск.хоз-ве, 1993, № 2.-С.7-9.

144. Дэвид Браун Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности.-М.: Машиностроение, 1979.-359с.

113. Елисейкин В.А. Идентификация и пути снижения опасностей при технологических отказах сельскохозяйственных машин / Дисс...д-ра техн. наук.-Красноярск, 1997.-43с.

114. Статистическая динамика безопасности технологических систем АПК / В.С.Шкрабак, В.А.Елисейкин, Е.В.Пыханова, Т.И.Белова.-С.Пб., 1996.-365с.-Деп.в НИИТЭИагропром 23.09.96 № 183 ВС-96.

115. Елисейкин В.А. Применение вероятностных моделей механизированных процессов для идентификации методов и технических средств охраны труда // Пути повышения безопасности в агропромышленном производстве: Сб.науч.тр. СПГАУ.-С.-Пб., 1993.-С.92-108.

## Самостоятельная работа 4

### МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

*Математическое моделирование* – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала. Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических конструкций, описывают основные свойства объекта, процесса или системы, его параметры, внутренние и внешние связи. Эти требования выполняются далеко не всегда, что может привести к ненадежным оценкам параметров модели.

Другой проблемой является ограниченность имеющейся выборки данных (набор экспериментальных точек). Для параметров модели используется эмпирическое правило: для корректной, надежной оценки одного параметра необходимо 5–10 экспериментальных точек. Однако бывают ситуации, когда получение достаточного числа точек крайне затруднено или очень дорого.

#### 2. Математическое моделирование

*Математическое моделирование* – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала. Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических описывают основные свойства объекта, процесса системы, его параметры, внутренние и внешние связи.

В общем случае математическая модель реального объекта, процесса или системы представляется в виде системы функционалов:

При построении математической модели перед исследователем возникает задача выявить и исключить из рассмотрения факторы, несущественно влияющие на конечный результат (математическая модель обычно включает значительно меньшее число факторов, чем в реальной действительности). На основе данных эксперимента выдвигаются гипотезы о связи между величинами, выражающими конечный результат, факторами, введенными в математическую модель. Такая связь зачастую выражается системами дифференциальных уравнений в частных производных (например, в задачах механики твердого тела, жидкости газа, теории фильтрации, теплопроводности, теории электростатического тродинамического полей).

Конечной целью этого этапа является формулирование математической задачи, решение которой с необходимой точностью выражает результаты, интересующие специалиста.

По принципам построения математические модели разделяют:

- на аналитические;
- имитационные.

На аналитических моделях процессы функционирования реальных объектов, процессов или систем записываются в виде явных функциональных зависимостей.

*Аналитическая модель* разделяется на типы в зависимости от математической проблемы:

- уравнения (алгебраические, трансцендентные, дифференциальные, интегральные);
- аппроксимационные задачи (интерполяция, экстраполяция, численное интегрирование и дифференцирование);
- задачи оптимизации;
- стохастические проблемы.

Однако по мере усложнения объекта моделирования построение аналитической модели превращается в трудноразрешимую проблему. Тогда исследователь вынужден использовать имитационное моделирование.

В *имитационном моделировании* функционирование объектов, процессов или систем описывается набором алгоритмов. Алгоритмы имитируют реальные элементарные явления, составляющие процесс или систему с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет о исходным данным получить сведения о состояниях процесса или системы в определенные моменты времени, однако прогнозирование поведения объектов, процессов или систем здесь затруднительно.

Можно сказать, что имитационные модели – это проводимые на ЭВМ вычислительные эксперименты с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов или систем.

В зависимости от характера исследуемых реальных процессов и систем математические модели могут быть:

- детерминированные;
- стохастические.

В *детерминированных моделях* предполагается отсутствие различных случайных воздействий, элементы модели (переменные, математические связи) достаточно точно установленные, поведение системы можно точно определить. При построении детерминированных моделей чаще всего используются алгебраические уравнения, интегральные уравнения, матричная алгебра.

*Стохастическая модель* учитывает случайный характер процессов в исследуемых объектах и системах, который описывается методами теории вероятности и математической статистики.

По степени соответствия между математической моделью и реальным объектом, процессом или системой математические модели разделяют:

- на изоморфные (одинаковые по форме);
- гомоморфные (разные по форме).

Модель называется изоморфной, если между ней и реальным объектом, процессом или системой существует полное поэлементное соответствие.

Гомоморфной – если существует соответствие лишь между наиболее

значительными составными частями объекта и модели.

## Самостоятельная работа 5 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Рассмотрим постановку задачи и алгоритмы решения задач построения математических моделей аналитическими и статистическими методами.

Пусть имеется некоторый объект с  $m$  входами  $X = (x_1, \dots, x_m)$  и одним выходом  $y$ , связанными некоторой функциональной зависимостью  $y = F(X, A) + \varepsilon$ ,

где  $A = (a_1, \dots, a_m)$  – вектор коэффициентов (параметров);  $\varepsilon$  – помехи.

Необходимо по выборке из  $k$  значений  $W = \{w^1, \dots, w^i, \dots, w^k\}$ ,

где  $w^i = \{y^i, x^i\}$ , найти такое функциональное преобразование, чтобы минимизировать некоторый критерий рассогласования модели и объекта

(критерий качества модели):  $\min F \rightarrow$  где  $F$  – функциональное преобразование (фактически структура математической модели), образование (фактически структура математической модели),  $f$  – множество возможных преобразований (структур моделей).

В задаче построения математической модели возникает ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- выбор структуры модели (функции  $F(X, A)$ );
- оценивание вектора коэффициентов модели  $A$ ;
- выбор критерия оценки качества модели  $D$ .

Все эти задачи тесно связаны между собой: выбирая структуру модели, надо оценивать ее качество, а чтобы оценить качество модели, необходимо предварительно найти ее коэффициенты.

Выделяют следующие методы построения математических моделей:

- аналитический;
- статистический (экспериментальный);
- экспериментально-аналитический.

Аналитические модели (их еще называют «физическими») строятся исхо-

дя из анализа объекта и известных законов (физики, химии, экономики и т.п.).

Экспериментальные модели строятся на основе экспериментальных данных, полученных с объекта исследования. Фактически используется метод «черного ящика», при котором математические модели строятся на основании наблюдений за входными и выходными значениями. Построение математических моделей по результатам наблюдения входных и выходных переменных объекта получило название «идентификация». При этом определяются не только коэффициенты модели (идентификация в узком смысле), но и ее структура (структурная идентификация).

Однако, как показывает практика, ни тот ни другой подход не используется в чистом виде: при построении аналитических моделей приходится их подстраивать по данным эксперимента, а в экспериментальных моделях закладываются некоторые априорные сведения об объекте (применяется так называемый метод «серого ящика»). Поэтому наиболее распространен экспериментально-аналитический подход, когда исходная структура модели строится на основании анализа процессов в системе, а коэффициенты определяются по экспериментальным данным.

### ***Выбор структуры модели***

Уточним постановку задачи структурной идентификации. Будем считать, что нам ничего не известно о структуре истинной зависимости  $F$ . Тогда при входных переменных теоретически может существовать бесконечное количество структур  $F(X, A)$ , принадлежащих  $f$ . Поскольку нам не известна структура  $F^0$ , то, если даже мы найдем такую  $F$ , которая равна  $F^0$ , мы не узнаем об этом.

Решение любой задачи выбора состоит из двух подзадач: «генерация» альтернатив и формирование критерия выбора наилучшей из них.

В отношении структуры модели эти подзадачи можно сформулировать как необходимость:

- разработать алгоритм «генерации» (перебора) структур;
- сформировать критерий оценки качества структуры (качества модели).

## *Методы и алгоритмы выбора структур моделей*

1. *Методы шаговой регрессии.* Основная идея шаговой (пошаговой) регрессии заключается в гипотезе о том, что искомую структуру можно найти, трансформируя модель путем следующих последовательных действий:

1) добавления к модели наиболее значимых по некоторому критерию переменных (метод включения, или «присоединения»);

2) исключения незначимых по некоторому критерию переменных (метод исключения, или «удаления»);

3) добавления наиболее значимых переменных при одновременном исключении незначимых (метод добавления-исключения, или «присоединения-удаления»).

В качестве добавляемых (удаляемых) переменных могут выступать не только сами исходные переменные  $x_1, \dots, x_m$ , но и функции от них  $f_l(x_1 \dots x_m)$ ,  $l = 1, 2, \dots$ , например  $x^2$ ,  $\ln(x)$ ,  $x_i$ ,  $x_j$

Частным случаем функций можно считать и функции вида:

$$f_l(x_i \dots x_m) = x_i, \quad i = 1, \dots, m$$

Таким образом, с помощью шаговой регрессии можно строить нелинейные (нелинейные по переменным, но линейные по параметрам) математические модели вида

$$y = a_0 + \sum a_i f_i(x_1, \dots, x_m)$$

2. *Метод включения* начинает свою работу с выбора наиболее значимой (по некоторому критерию) переменной (функции) из списка:

$f_l(\cdot)$ ,  $l = 1, \dots, L$ . Затем из оставшихся переменных выбирается наиболее значимая и включается в модель. И так до тех пор, пока улучшается качество модели. Качество последней во многом зависит от порядка вхождения переменных в модель, который, в свою очередь, определяется используемым критерием включения. Поскольку между переменными практически всегда

имеется ненулевая корреляционная зависимость, не выполняется правило аддитивности. В результате переменная, значимая на предыдущих шагах, может стать незначимой на последующих, и ее присутствие может препятствовать включению в модель другой, более значимой переменной. Эта особенность ограничивает возможность метода включения.

3. *Метод исключения* первоначально рассматривает модель, в которую включены все имеющиеся  $L$  входных переменных. Затем из них последовательно исключаются незначимые (по некоторому критерию)

переменные до тех пор, пока улучшается качество модели. Структура конечной модели может совпадать со структурой, полученной по методу включения, но для сложных моделей это скорее исключение, чем правило.

Данному методу присущ недостаток метода включения: исключенные на предыдущих шагах переменные могут оказаться значимыми после исключения других переменных. Кроме того, к недостаткам можно отнести и повышенные требования к вычислительным ресурсам при работе с массивами большого размера на первых шагах алгоритма, а при небольших выборках экспериментальных данных алгоритм может вообще не работать (например, если  $k < L$ ).

4. Объединение вышеназванных методов дает *метод включения исключения*, в основе которого лежит метод включения, но дополнительно на каждом шаге алгоритма происходит проверка переменных на значимость: незначимые переменные исключаются из модели. При кажущейся эффективности такого подхода метод не дает уверенности в оптимальности найденной структуры. В работе предложен алгоритм, автоматически выбирающий порог исключения переменных, что частично решает проблему выбора соответствующего критерия, но опять же не гарантирует нахождения глобального экстремума.

5. *Метод группового учета аргументов* (МГУА). Сложно говорить о МГУА как о конкретном методе, поскольку начиная с 1968 года разработаны десятки его разновидностей. В МГУА можно выделить два направления:

комбинаторные и селективные (еще их называют много рядными) алгоритмы. В комбинаторном алгоритме сначала рассматривается множество моделей от одной переменной:

$$y_r = a_0 + a z_r \text{ где } z_r \in \{ x_i x_j, i, j = 1, \dots, m \} .$$

Затем рассматривается множество всех возможных моделей от двух переменных:

$$y_{rv} = a_0 + a_1 z_r + a_2 z_v$$

Далее от трех и так до тех пор, пока улучшается критерий  $D$ . Возможности комбинаторного алгоритма ограничены возможностями вычислительной техники, поскольку ввод одной дополнительной входной переменной увеличивает время счета примерно вдвое [1, 2, 7, 8].

### ***Выбор критерия оценки качества модели***

Различные алгоритмы порождают необходимость определиться с множеством различных критериев. В частности, необходимо выбрать критерий включения переменных в модель и их исключения, критерий останова алгоритма и критерий оценки окончательной модели.

Общий принцип останова шаговых алгоритмов структурной идентификации следующий: расчеты надо прекращать, когда дальнейшая работа алгоритма не приводит к улучшению качества модели. Отсюда следует общность критериев останова и качества модели.

Критерий оценки качества модели зависит от ее назначения. Например, если предполагается использовать модель для управления или прогнозирования, то необходима высокая прогностическая способность модели – на одни и те же входные воздействия модель и объект должны давать близкие результаты на выходе. Если модель используется в системе измерений, то целью

является минимум максимального отклонения значений модели и объекта. Если необходимо построить распознающую систему, то в качестве критерия берут ошибку распознавания – отношение правильных ответов к общему их числу.

Если ограничиться задачей управления, то в основу искомого критерия останова можно заложить требование близости значений выхода модели  $um$  и объекта  $u$  при одинаковых значениях входных переменных  $X^i \in X, i = 1, \dots, k$ , где  $X$  – рабочая область изменения входных переменных.

Все критерии останова, алгоритмов структурной идентификации (они же критерии качества модели), за исключением критерия достижения заданного числа входных переменных в модели и ему подобных, можно разбить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние критерии вычисляются на основании данных, участвующих в построении модели, а внешние – на основании дополнительных данных.

К внутренним критериям в первую очередь следует отнести остаточную ошибку модели – сумму отклонений (абсолютных или квадратов разностей) значений выходных переменных объекта и модели. Далее следует назвать коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции  $R^2$ ), приведенную остаточную ошибку, приведенный  $R^2$  и критерий Марллоуса  $C_p$ , а также другие критерии.

Более надежным представляется использование нескольких выборок данных: по одним выборкам строится модель, а по другим – оценивается ее качество.

В ряде работ дополнительные экспериментальные данные (экзаменационные точки) предлагается применять для оценки качества готовых моделей. Таким образом, предлагается из множества экспериментальных данных выделять часть точек в качестве контрольных. Средне-квадратичная ошибка на этих точках может служить в качестве критерия останова алгоритмов структурной идентификации.

Если наблюдать поведение модели на дополнительных эксперимен-

тальных точках, то можно заметить, что с некоторого шага модель начинает удаляться от этих точек (в случае неустойчивости это удаление начинается с первого же шага). Исходя из этого, предлагается определять момент останова алгоритма по ошибке на контрольных точках – расчеты прекращаются в момент достижения первого минимума ошибки по шагам алгоритма.

В силу независимости от конкретного алгоритма в качестве критерия качества готовых моделей или для сравнения моделей, построенных с помощью различных алгоритмов, предлагается также использовать среднеквадратичную ошибку на контрольных точках.

### ***Оценивание параметров модели***

Будем считать, что нам известна структура модели (оператора  $F$ ), но не известны коэффициенты (параметры) этой модели. Какой бы точной ни была структура модели, практически всегда имеются параметры, которые необходимо найти или уточнить. Задача оценивания параметров модели ставится как задача оптимизации: необходимо найти такой вектор параметров  $A$  из области допустимых значений  $\Omega$ , чтобы минимизировать некоторую функцию отклонения значений выхода модели ( $y^t$ ) от выхода объекта ( $y$ ) при одних и тех же значениях входных переменных:

$$D(y - y^t) \rightarrow \min$$

Учебное издание

Белова Татьяна Ивановна

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ  
И МОДЕЛИРОВАНИЕ»**

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 25.06.2018 г. Формат 60 х80.  
Бумага печатная. Усл. п.л.18,53. Тираж 50 экз. Изд. №6127.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, п. Кокино, Брянский ГАУ