

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

Т.И. Белова, Е.М. Агашков

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОСФЕРЕ»

Брянская область
2018

УДК 614.8:330 (07)

ББК 68.9:65

Б 43

Белова, Т.И. Методическое пособие по дисциплине «Моделирование и прогнозирование опасных процессов в техносфере» / Т.И. Белова, Е.М. Агашков. - Брянск: Издательство Брянского государственного аграрного университета, 2018 г. – 96 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 «Моделирование и прогнозирование опасных процессов в техносфере» и позволяет реализовать компетенции, представленные в учебном плане.

Пособие включает большой объем материала по результатам научных исследований авторов, проводимых для агропромышленного комплекса, тем самым может быть полезным для широкого круга специалистов, занимающихся вопросами обеспечения безопасности жизнедеятельности на объектах отрасли

Кандидат технических наук, доцент
кафедры систем энергообеспечения
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»,
О.Е. Широбокова

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического института, протокол № 8 от 21 марта 2018 г.

© Белова Т. И., 2018

© Агашков Е.М., 2018

© ФГОУ ВО Брянский ГАУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Практические работы по дисциплине	5
Практическая работа 1	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕТАЛЬНОГО ТРАВМАТИЗМА РАБОТАЮЩИХ ПРИ РАЗБРАСЫВАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ	5
Практическая работа 2	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	12
Практическое занятие 3	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАВМООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УСТРАНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ	26
2 Практическая часть	44
2. Курс лекций по дисциплине	53
Тема1 Опасности и защита от них	53
Лекция 1 Природа и характеристика опасностей в техносфере	53
Лекция 2 Обеспечение безопасности человека и технических систем	60
Тема 2 Моделирование опасных процессов в техносфере	66
Лекция 3. Общие принципы моделирования опасных процессов в техносфере	66
Лекция 4 Основные принципы моделирования опасных процессов в техносфере	83

Введение

Методическое пособие предназначено для обучения по дисциплине «Моделирование и прогнозирование опасных процессов в техносфере» 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. Практические работы по дисциплине «Моделирование и прогнозирование опасных процессов в техносфере»

1. Практические работы по дисциплине

Практическая работа 1

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕТАЛЬНОГО ТРАВМАТИЗМА РАБОТАЮЩИХ ПРИ РАЗБРАСЫВАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Цель работы: изучить методику прогнозирования летального травматизма работающих при разбрасывании органических удобрений с использованием математического моделирования

Содержание работы: подготовка данных к прогнозированию показателей травматизма и заболеваемости при обслуживании разбрасывателей органических удобрений. Использовался анализ динамических рядов, который широко используется в прикладных исследованиях. Для выбора наилучшего уравнения зависимости уровня травматизма по годам используется программа «STOBR4», а также программа «Statistica»

1 Общие сведения

Прогнозирование летального травматизма необходимо для выявления тенденции и основных причин травмирования. Для проведения прогнозирования были взяты данные журнала регистрации смертельных случаев за 10 лет. Из журнала были взяты несчастные случаи, которые произошли с работниками при обслуживании разбрасывателей органических удобрений.

2 Практическая часть

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 травматизма наилучшей оказалась модель в виде гиперболы.

Уравнение имеет вид

$$Y = A_0 + A_1 \cdot T + A_2 \cdot T^2, \quad (1)$$

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

$$y = A_0 + A_1 \cdot T, \quad (2)$$

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

$$y = 3211,41 - 24,75 \cdot T$$

Причинами снижения уровня травматизма в изучаемой ситуации являются:

- снижение площадей пашни;
- переход на новые формы хозяйствования;
- уменьшение количества разбрасывателей органических удобрений.

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.

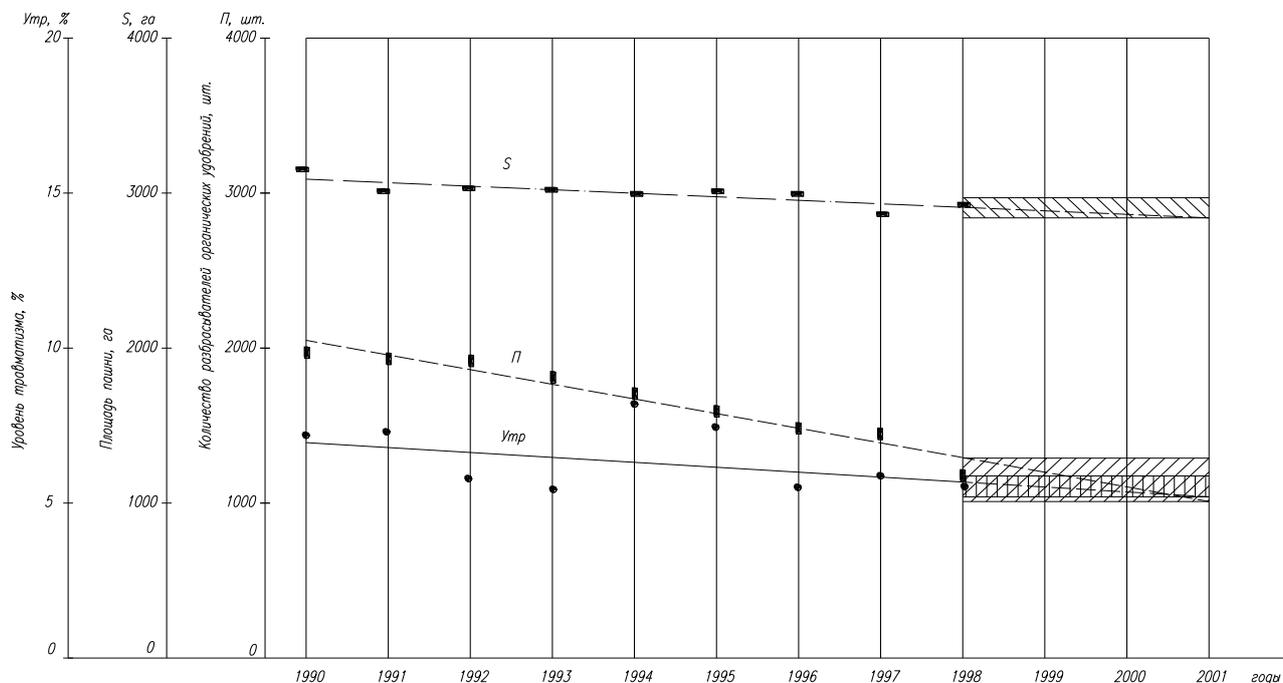


Рисунок 1 - Прогнозирование и анализ летального травматизма при разбрасывании органических удобрений

На рисунке 1 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.2).

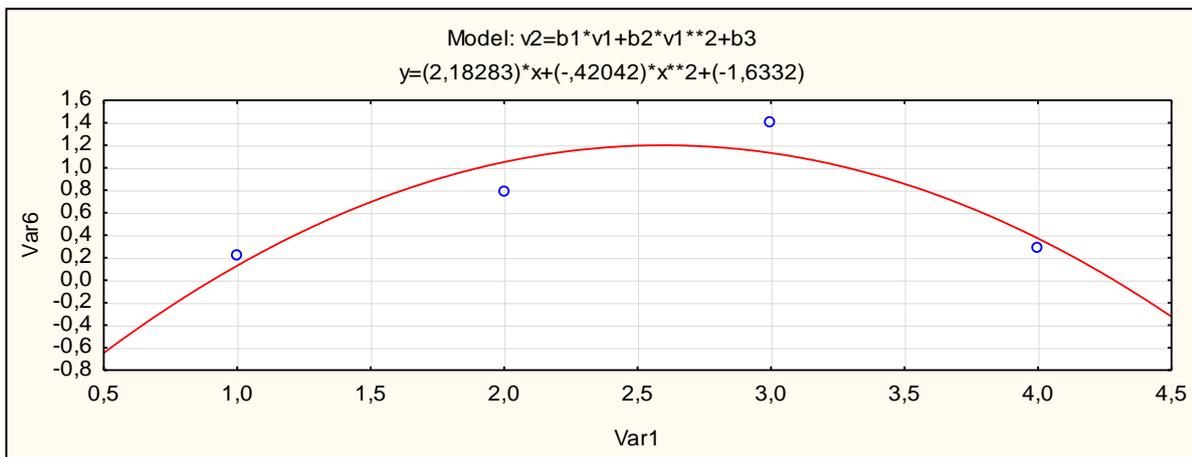


Рисунок 2 – Пример полученных данных при нелинейной оценке

Данные нелинейной оценки позволяют получить прогнозирование уровня травмирования, как показано на риунках 3,4.

	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	-0,272155			
3	1,403690	1,131536	0,272155			
4	0,280738	0,371456	-0,090718			

Рисунок 3 – Пример полученных данных при нелинейной оценке

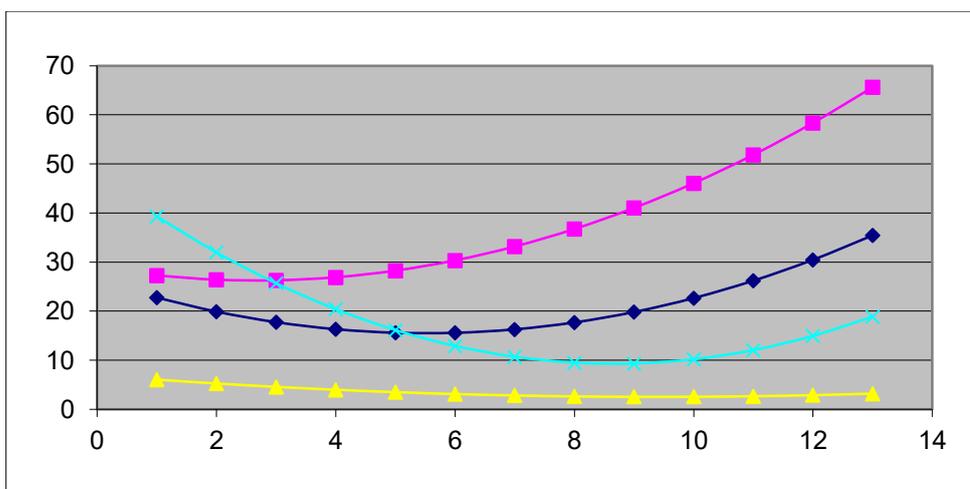


Рисунок 4 – Пример полученных нелинейных оценок с целью прогнозирования уровней травматизма с использованием программы «Statistica»

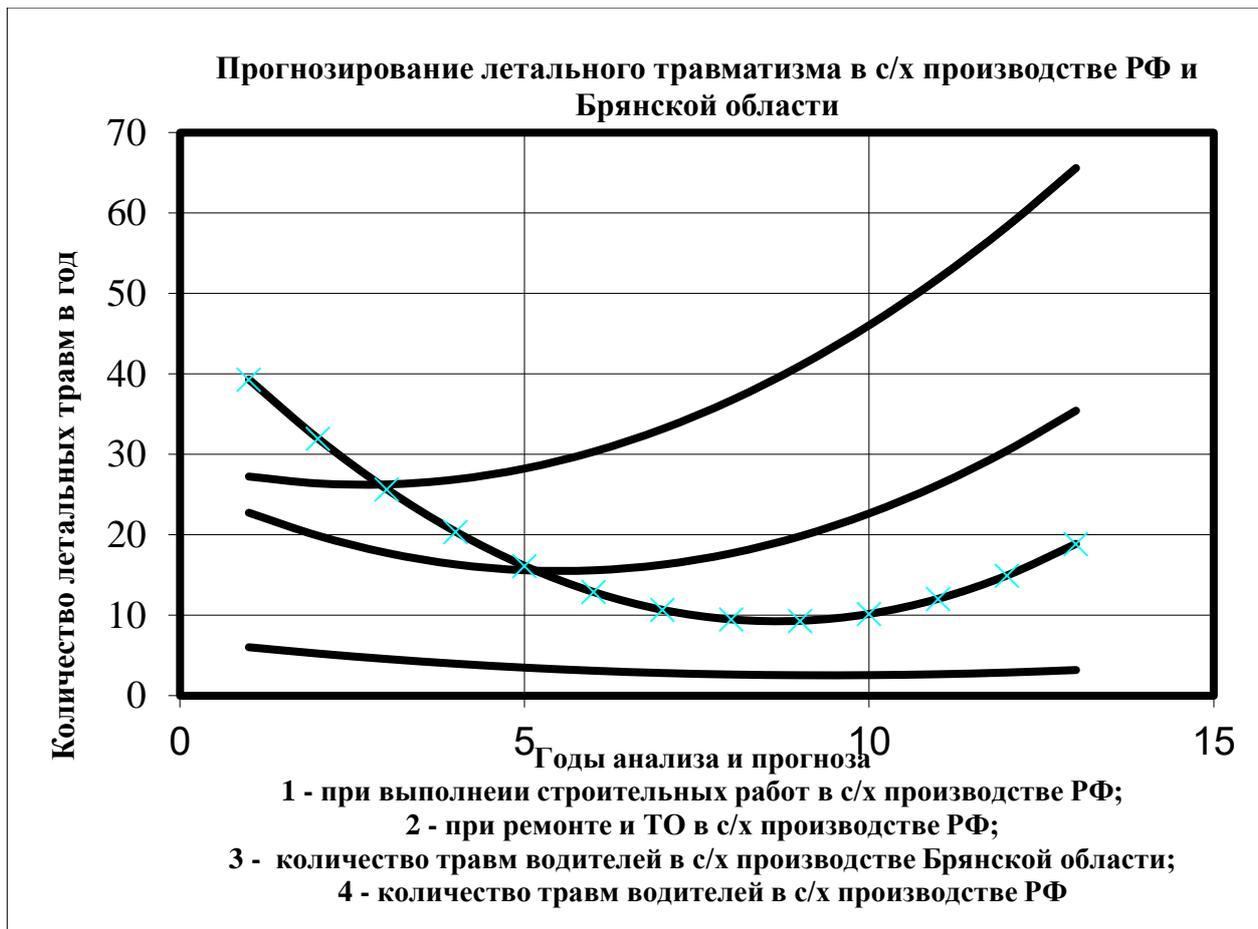


Рисунок 5 – Пример оформленных графиков для использования в печать

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 6 – Пример математической модели для анализа и прогноза по программе «Statistica»

Вывод:

Использование компьютерных программ «STOBR4» и «Statistica» позволяет прогнозировать уровни негативных факторов, влияющих на условия и безопасность труда работающих. Прогноз можно проводить на 5 лет и более, что связано с использованием конкретных задач для исследования.

Список используемой литературы:

1. Шкрабак В.С., Копылов Г.Н. Методика анализа и краткосрочного прогнозирования производственного травматизма в сельском хозяйстве и пути его профилактики//Инженерно-технические проблемы охраны труда в сельском хозяйстве:Сб.науч.тр.ЛСХИ. - Ленинград, 1988.-С.3-11.

2. Елисейкин В.А., Дапкунас И.В. и др. Общая концепция прогнозирования чрезвычайных ситуаций в сельскохозяйственном производстве//Информ.листок N 68-91, ЦНТИ.-Красноярск, 1991.

3. Куплевацкий Н.М., Белова Т.И. Модель безопасного функционирования механизмов картофелеуборочного комбайна //Пути обеспечения безопасности жизнедеятельности в АПК:Сб. науч. тр.ЛСХИ.-Санкт-Петербург, 1991.-С.86-87.

4. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления/А.Б.Лурье, Н.С.Нагорский, В.Г.Озеров и др.: Под ред. А.Б.Лурье.-Л.: Колос, 1979.-312с.

5. Копылов Г.Н., Шкрабак В.С. и др. Статистический прогноз показателей травматизма в сельскохозяйственных предприятиях//Пути обеспечения безопасности технологий и средств электромеханизации в сельском хозяйстве:Сб.науч.тр.ЛСХИ.-Ленинград, 1990.-С.28-41.

6. Стукач О.В. Программный комплекс «Statistica» в решении задач управления качеством: учебное пособие/О.В.Стукач.-Томский политехнический университет.-Издательство Томского политехнического университета, 2011.-163с.

Практическая работа 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Цель работы: изучить методику моделирования системы функционирования объекта в условиях чрезвычайных ситуаций

Содержание работы: модель функционирования системы пылезащиты при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства, представленная в виде блок-схемы и состоит из трех блоков. Третий блок связан с защитой работающих в условиях чрезвычайных ситуаций. Алгоритмизация модели позволяет определить вероятности получения производственной травмы на производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства в случае выхода параметров условий труда $P_{\text{эyi}}(t)$, при которых возможно получить острые заболевания (отравления).

1 Общие сведения

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.1) модель функционирования системы пылезащиты при производстве и переработке продукции животноводства и растениеводства представлена в виде блок-схемы и состоит из 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;

$P_{vyi}(t)$ – 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_{vyi} , полученных по выражению:

$$P_{vyi}(t) = \frac{c_i}{c_{max} - c_{(i-1)}}, \quad (1)$$

где c_i – концентрация пыли в i – момент времени ($i=1,2,3\dots n$) с шагом дискретизации Δt и периодом измерения t , мг/м³;

c_{max} – максимальная концентрация пыли, на момент начала работы системы вентиляции, мг/м³;

$P_{зи}(t)$ – 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 $P_{\text{вы}}(t)$, 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 $V_{\text{ос}}(t)$ в основном воздуховоде в выходные процессы изменения вероятности нахождения работающих во вредных условиях труда $P_{\text{вы}}(t)$ (блок 1), характеризующий повышение эффективности использования вытяжных устройств системы пылеудаления;

W_2 – оператор преобразования входных процессов изменения вероятности нахождения работающих во вредных условиях труда $P_{\text{вы}}(t)$ в выходные процессы изменения вероятности получения профессионального заболевания (отравления) $P_{\text{зи}}(t)$ (блок 2), характеризующий повышение эффективности использования средств автоматизации и автоматики системы пылеудаления;

W_3 – оператор преобразования входных процессов изменения вероятности получения профессионального заболевания (отравления) $P_{\text{зи}}(t)$ 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 системой 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 $P_{By}(t)$, 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:

$$S_{V_{oc}}(\omega) = S_{P_{By}}(\omega)[A(\omega)]^2 \quad (2)$$

$$S_{P_{By}}(\omega) = S_{P_3}(\omega)[A'(\omega)]^2 \quad (3)$$

$$S_{P_3}(\omega) = S_{P_T}(\omega)[A''(\omega)]^2 \quad (4)$$

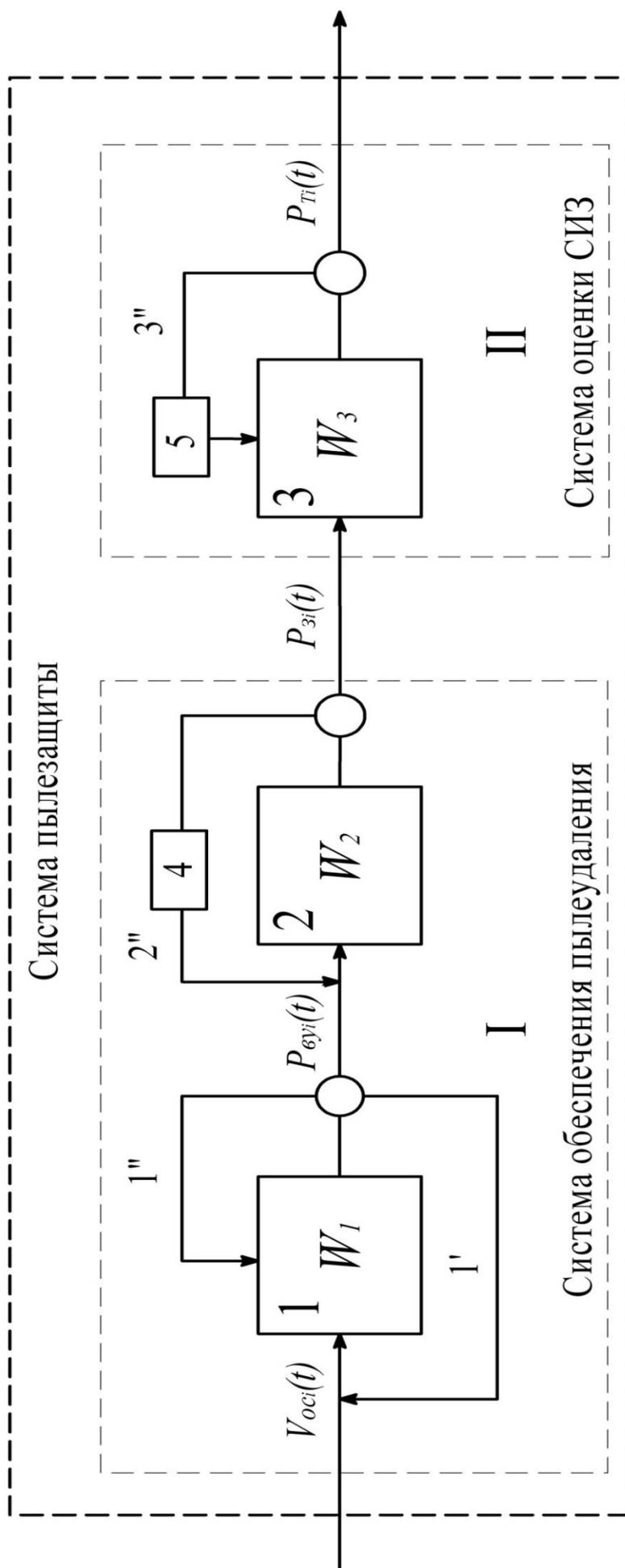


Рис. 1 Модель функционирования системы защиты работающих при переработке продукции животноводства и растениеводства

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:

$$[A(\omega)]^2 = \frac{(d_1\omega^4 + d_2\omega^2 + 1)K^2}{c_0\omega^6 + c_1\omega + c_2\omega^2 + 1}, \quad (5)$$

$$[A'(\omega)]^2 = \frac{(d'_1\omega^4 + d'_2\omega^2 + 1)K'^2}{c'_0\omega^6 + c'_1\omega + c'_2\omega^2 + 1}, \quad (6)$$

$$[A''(\omega)]^2 = \frac{(d''_1\omega^4 + d''_2\omega^2 + 1)K''^2}{c''_0\omega^6 + c''_1\omega + c''_2\omega^2 + 1}, \quad (7)$$

которым соответствуют передаточные функции $W(S)$:

$$W(S) = K^2 \frac{\tau_1^2 S^2 + \tau_2 S^2 + 1}{T_1^2 S^2 + T_2^2 S^2 + T_2 S^2 + 1}, \quad (8)$$

$$W'(S) = K'^2 \frac{\tau'_1 S^2 + \tau'_2 S^2 + 1}{T'^2_1 S^2 + T'^2_2 S^2 + T'_2 S^2 + 1}, \quad (9)$$

$$W''(S) = K''^2 \frac{\tau''_1 S^2 + \tau''_2 S^2 + 1}{T''^2_1 S^2 + T''^2_2 S^2 + T''_2 S^2 + 1}, \quad (10)$$

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;

$c'_0 = T'^6_1$, $c'_1 = T'^4_2 - 2T'_3T'^3_1$, $c'_2 = T'^2_3 - 2T'^2_2$, $d'_1 = \tau'^4_1 d'_2$, $d'_2 = \tau'^2_2 - 2\tau'^2_2$;

$\tau'_1, \tau'_2, T'_1, T'_2, T'_3$; – постоянные, имеющие размерность времени;

$c''_0 = T''^6_1$, $c''_1 = T''^4_2 - 2T''_3T''^3_1$, $c''_2 = T''^2_3 - 2T''^2_2$, $d''_1 = \tau''^4_1 d''_2$, $d''_2 = \tau''^2_2 - 2\tau''^2_2$;

$\tau''_1, \tau''_2, T''_1, T''_2, T''_3$ – постоянные, имеющие размерность времени;

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 пище-концентратов. Таким фактором является параметр вытяжного устройства (K_{ycm}) – коэффициент, характеризующий угол α раскрытия вытяжного воздуховода.

Оптимальными параметрами вытяжного устройства блока 1 модели являются такие, при которых концентрация пыли c_1 при нахождении работающих при производстве сухих пище-концентратов будет минимальной ($c_1 \rightarrow \min$). При этом зависимость $P_{ey}(t) = f(c, t)$ достигается за счет одновременного снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны C_1 и сокращения времени нахождения во вредных условиях труда t_{eyi} .

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:

$$[P_{vy}^{onm}(t)] = f_1 [V_{oc}(t), [A'(\omega)]^2 = \varphi(K_{ycm})] \quad (11)$$

Аналогично можно получить оптимальные параметры выходных процессов $P_3(t)$ и $P_T(t)$ блоков 2 и 3, соответственно:

$$[P_3^{onm}(t)] = f_2 [P_{vy}(t), [A'(\omega)]^2 = \varphi(t_{vy})] \quad (12)$$

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 $[P_3^{onm}(t)] = f_2(t_{vy})$ и $[P_{nc}^{onm}(t)] = f_3(t_3)$, представленные на рис. 2.3.

Согласно рабочей гипотезе вероятность появления несчастного случая работающих при переработке сельскохозяйственного сырья определяется из выражения:

$$P_{nc} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (13)$$

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.

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. 3.

По результатам экспериментального исследования получены гистограммы и статистические функции распределения (рис 4) времени реакции системы для снижения концентрации пыли при случае использования автоматических (рис. 4 а) и автоматизированных (рис. 4 б) систем пылеудаления.

Функции распределения вероятностей соответственно имеют вид:

$$P(t_p) = 0,083 \cdot e^{-\frac{(t_p - 19,346)^2}{46,451}} \quad (14)$$

$$P(t_p) = 0,070 \cdot e^{-\frac{(t_p - 21,912)^2}{64,673}} \quad (15)$$

Для первого случая $t_p = 19,346$ мин, для второго случая – $t_p = 21,912$ мин.

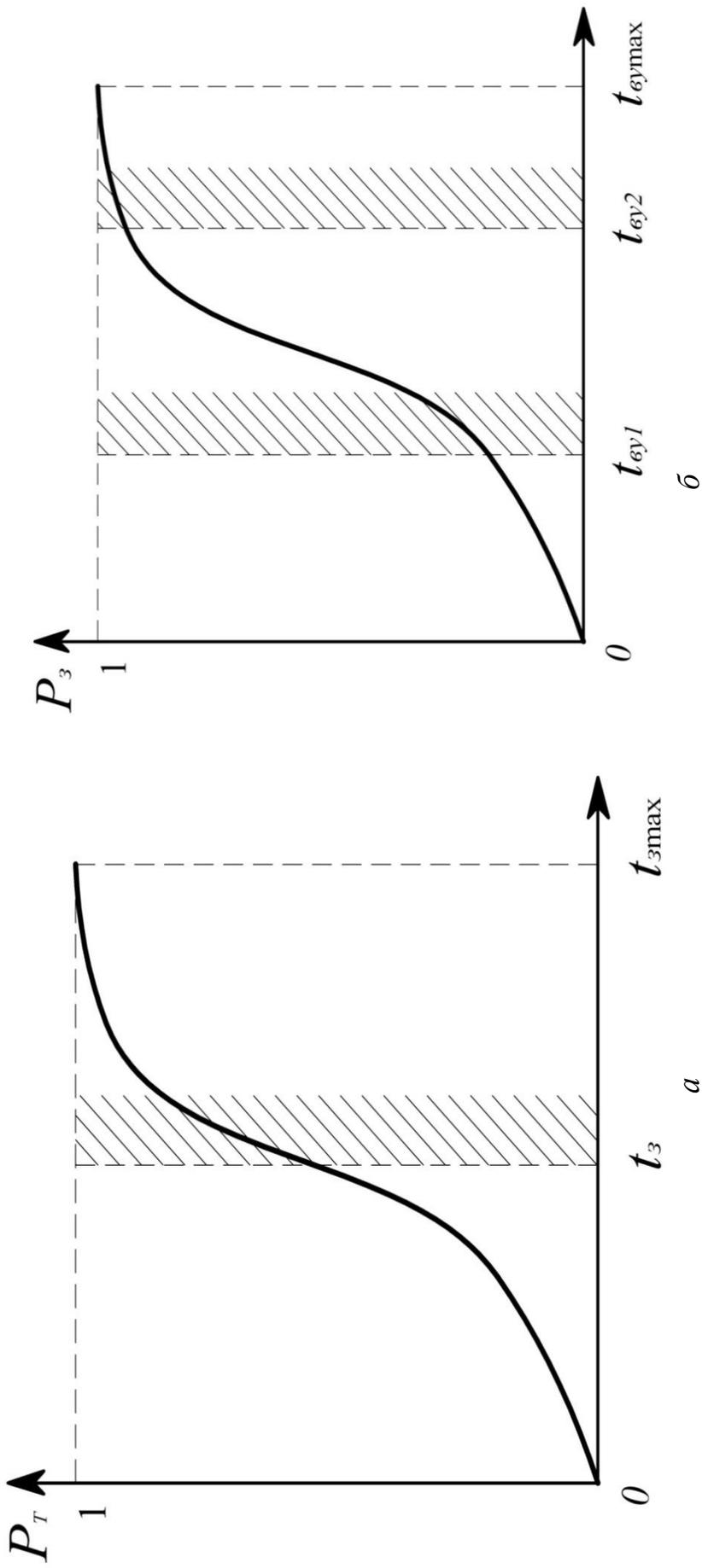


Рис. 2. Зависимости: а – $P_T = \varphi(t_3)$ при использовании автоматизированных и автоматических систем, t_3 – время нахождения средств индивидуальной защиты; б – $P_3 = \varphi(t_{cy})$ при использовании автоматизированных и автоматических систем пылеудаления, t_{cy} – время нахождения во вредных условиях труда с использованием автоматизированных и автоматических систем пылеудаления, t_{cy2} – время нахождения во вредных условиях труда при существующих системах пылеудаления; t_{cy1} – время снижения опасности травмирования при использовании эффективных средств индивидуальной защиты

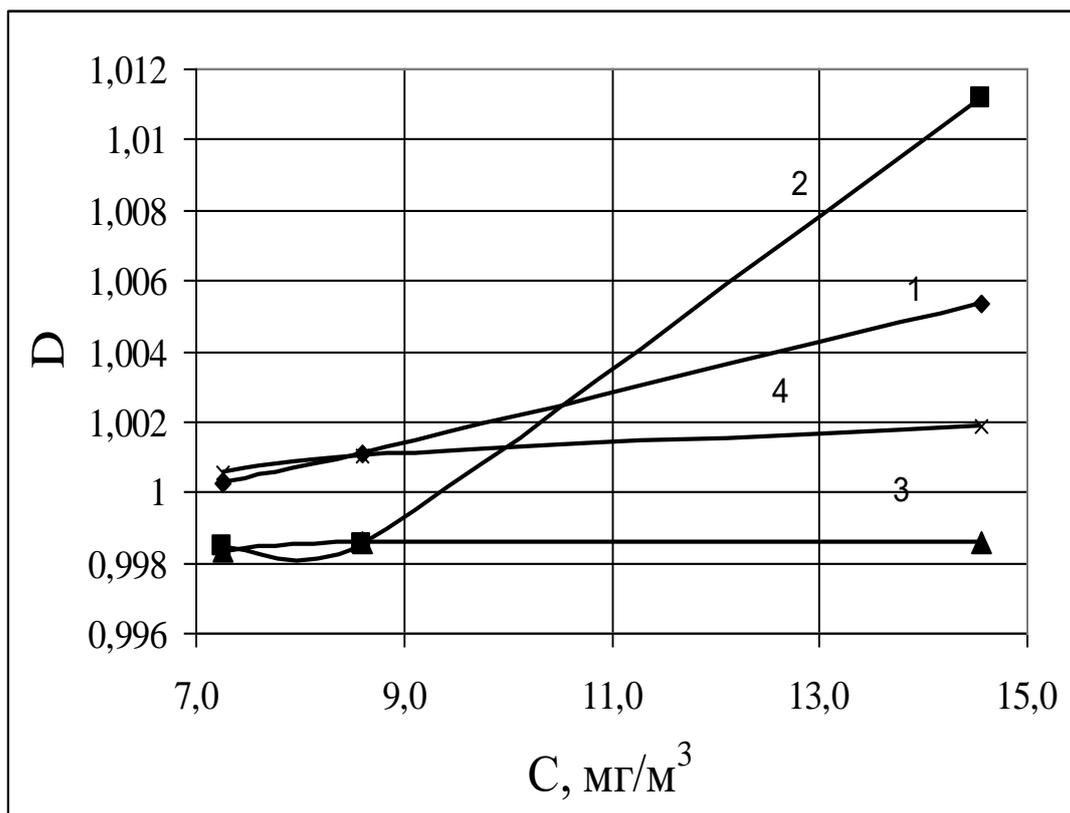
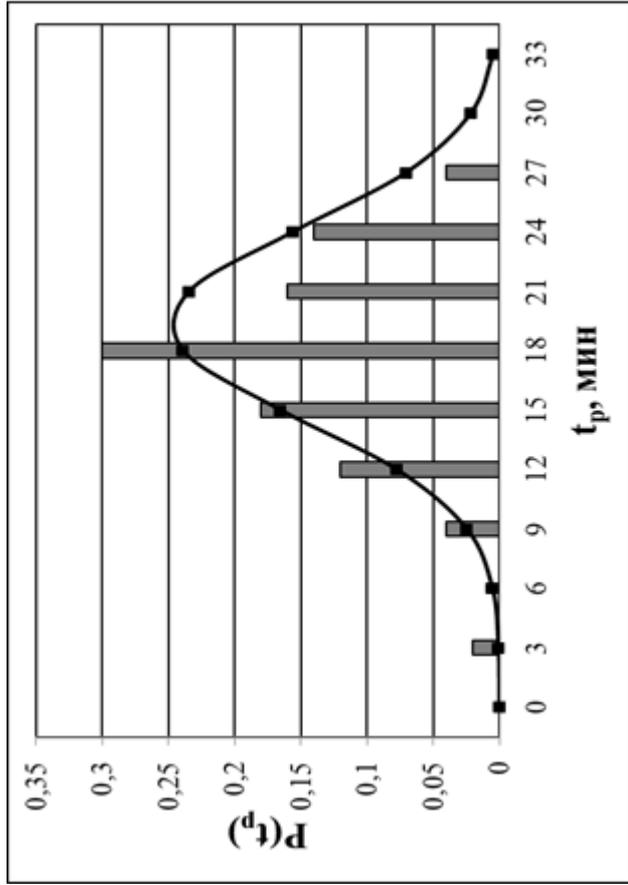


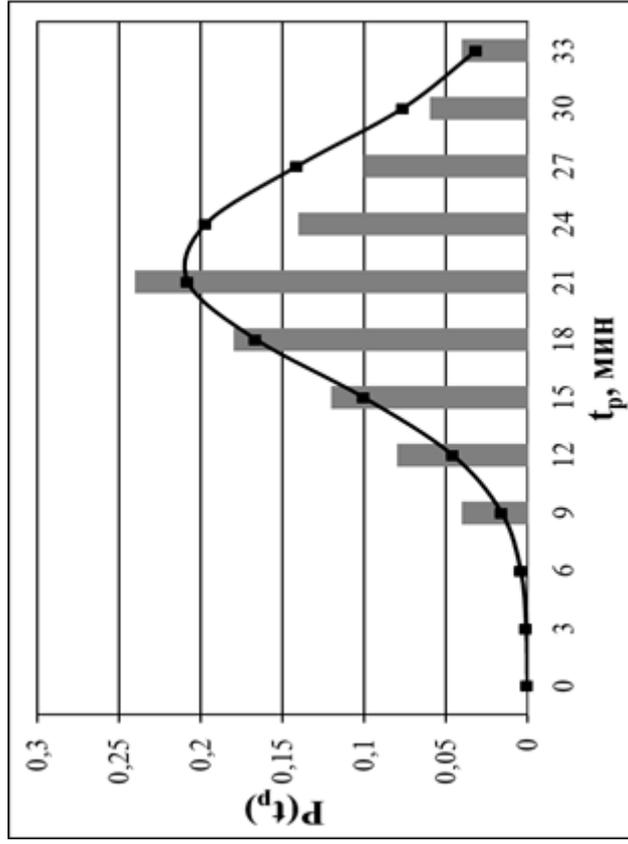
Рисунок 3 - Результаты исследования средств контроля концентрации пыли сухого пищевого концентрата красной свеклы оптической плотности D воздуха: C – концентрация пыли, мг/м³; 1 – красный светодиод; 2 – зеленый светодиод; 3 – желтый светодиод; 4 – синий светодиод

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.

Оценка эффективности использования предлагаемых средств индивидуальной защиты при производстве сухого пищевого концентрата красной свеклы проводилась на основе получения зависимостей (рис.5) спектрального коэффициента светопропускания $k_{сз}$ от длины волны λ 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).



a



b

Рисунок 4. Статистическая оценка эффективности использования устройства автоматического регулирования системы вентиляции при производстве сухих пищецентрифугатов: *a* – при использовании устройств автоматического пылеудаления; *b* – при использовании устройств автоматизированного пылеудаления; t_p – время реакции системы, с; $P(t_p)$ – вероятность попадания параметра в заданный предел

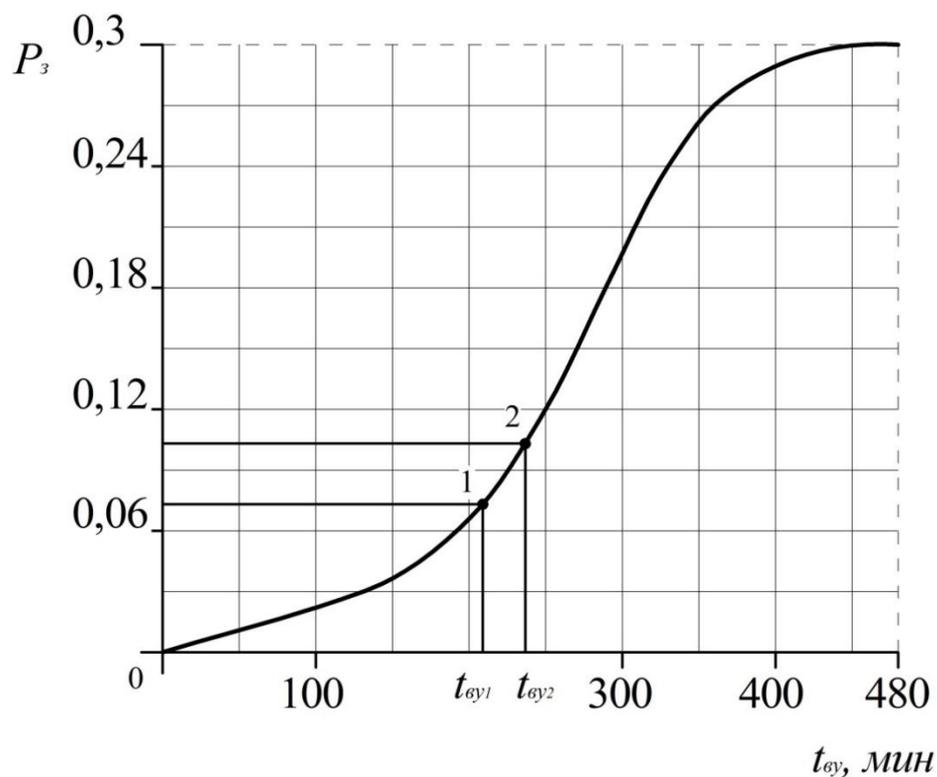


Рисунок 5. График зависимости вероятности возникновения заболевания от времени нахождения в условиях повышенной запыленности при и использовании автоматических и автоматизированных систем пылеудаления

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 (рис. 7) значения спектрального коэффициента светопропускания $k_{сз}$ в зависимости от длин волн излучаемого света λ , нм.

Приведенные графические зависимости:

$$Y_1 = -6,211 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00011 \cdot x^2 - 0,05911 \cdot x + 11,83, \quad (16)$$

$$Y_2 = -7,122 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00012 \cdot x^2 - 0,069 \cdot x + 13,668, \quad (17)$$

$$Y_3 = -6,788 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0,00011 \cdot x^2 - 0,062 \cdot x + 12,141, \quad (18)$$

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 – $k_{сз}=0,987$.

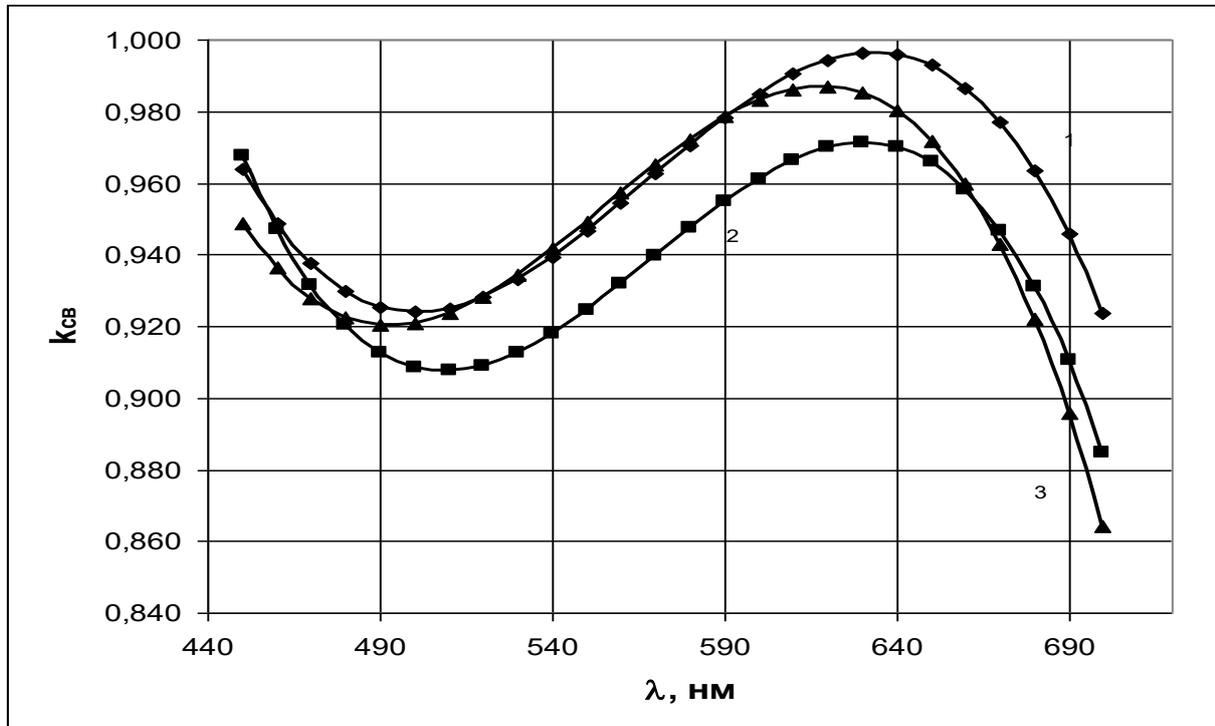


Рис. 6. Зависимости спектрального коэффициента светопропускания $k_{сз}$ очковых стекол средств индивидуальной защиты от длины волны λ излучаемого света: 1 – очки закрытые пылезащитные с прямой вентиляцией подочкового пространства (типа ЗП); 2 – гражданский противогаз (типа ГП-5); 3 – очки закрытые пылезащитные с непрямой вентиляцией (типа ЗН)

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:

Предлагаемая технология улучшения условий труда при производстве сухих пищевых 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.

Список использованной литературы

1. Шкрабак, В.С. Исследования эффективности улучшения условий труда работающих пищевых 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 трудовой 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.

Практическое занятие 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАВМООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УСТРАНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Цель работы: изучить методику моделирования травмоопасных ситуаций при устранении технических и технологических отказов сельскохозяйственных агрегатов на примере картофелеуборочных агрегатов МТЗ-82+КПК-2-01 и обосновании параметров конструкции устройства, обеспечивающих максимальную эффективность защиты работающих в зонах неогражденных частей машин.

Содержание работы: два уровня минимизации травмоопасных ситуаций. Активная и пассивная безопасность применительно к сельскохозяйственному агрегату. моделирование травмоопасных ситуаций в виде блок-схем событий или деревьев событий при устранении технологических отказов в условиях эксплуатации картофелеуборочных комбайнов. Модель управления активной безопасностью картофелеуборочного агрегата КПК- 2 - 01. Обеспечение пассивной безопасности операторов картофелеуборочных агрегатов в зонах неогражденных части машин. Обоснование параметров и выбор перспективных средств защиты работающих в сельскохозяйственном производстве

1 Основные сведения

Повышение эксплуатационной безопасности картофелеуборочных агрегатов МТЗ-82+КПК-2-01 обеспечивается за счет реализации двух уровней. Первый уровень связан с управлением активной безопасностью за счет минимизации экспозиции вынужденного нахождения операторов изучаемых машин в опасных зонах, второй - с управлением пассивной безопасностью за счет повышения эффективности защиты работающих в зонах карданных валов.

На основе обобщения результатов нами предлагается моделирование травмоопасных ситуаций в виде блок-схем событий или деревьев событий при устранении технологических отказов в условиях эксплуатации картофе-

леуборочных 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 травмоопасности; 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.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} , ... 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 организационны 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 .

$$A = O \vee (M_{H1} \vee M_{H2} \vee \dots \vee M_{Hn}) \vee (M_{O11} \vee M_{O12} \vee M_{O21} \vee M_{O22}) \vee [(M_{O11} \vee M_{O12}) \vee \dots \vee (M_{On1} \vee M_{On2})]$$

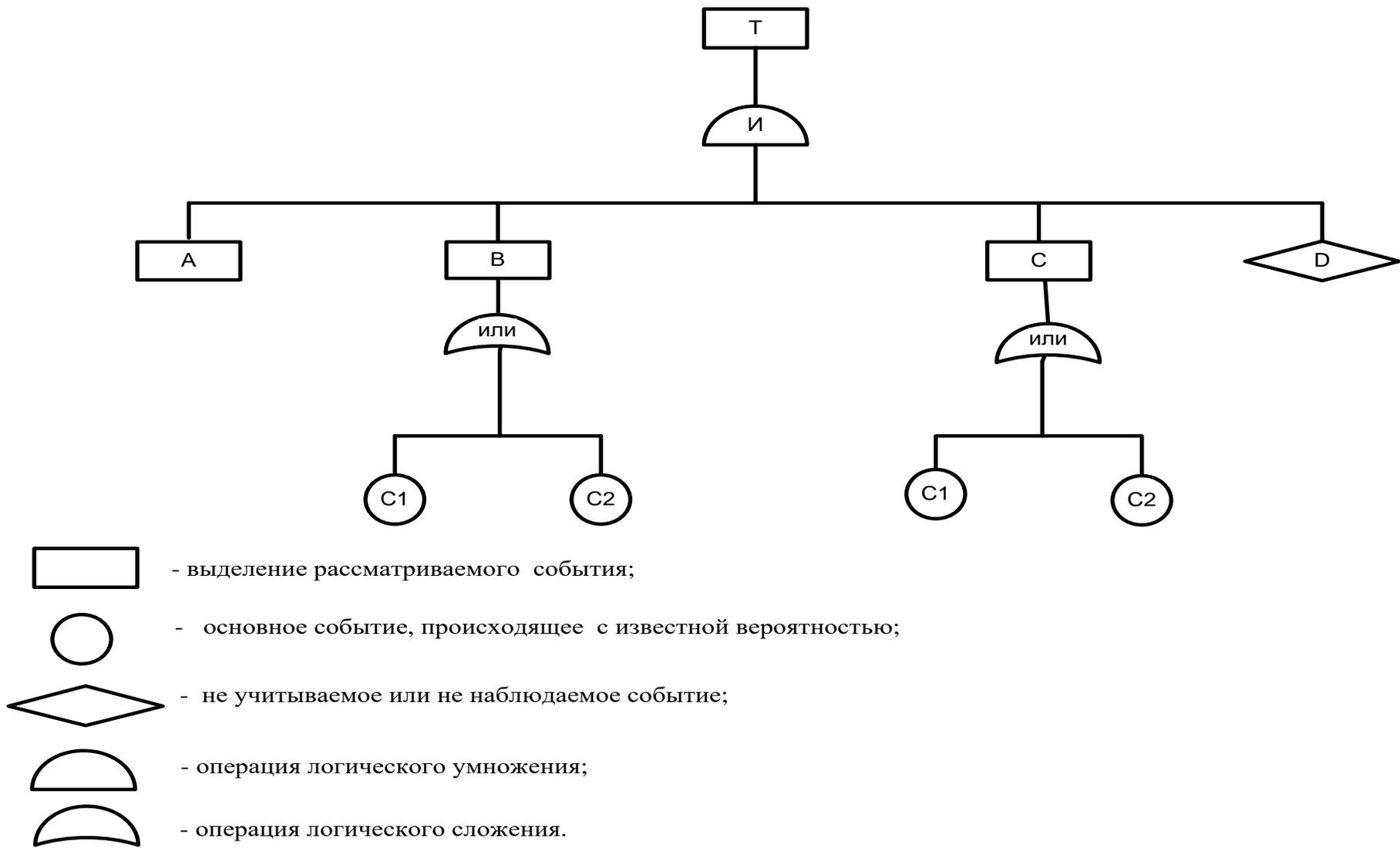


Рис.1. Моделирование травмоопасных ситуаций при нахождении в опасных зонах картофелеуборочных агрегатов

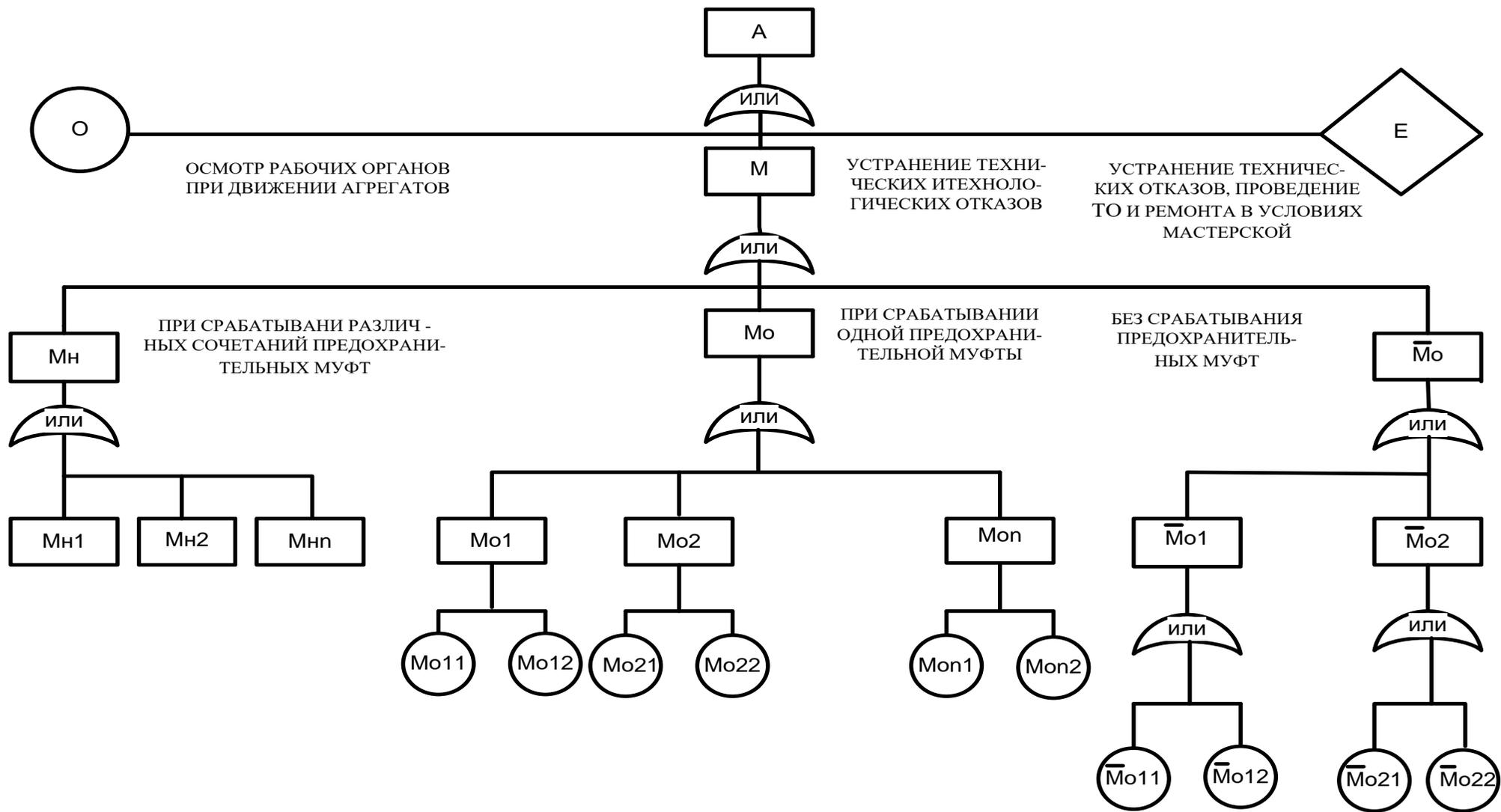


Рис 2. Моделирование травмоопасных ситуаций при устранении технических и технологических отказов в условиях эксплуатации картофелеуборочного агрегата

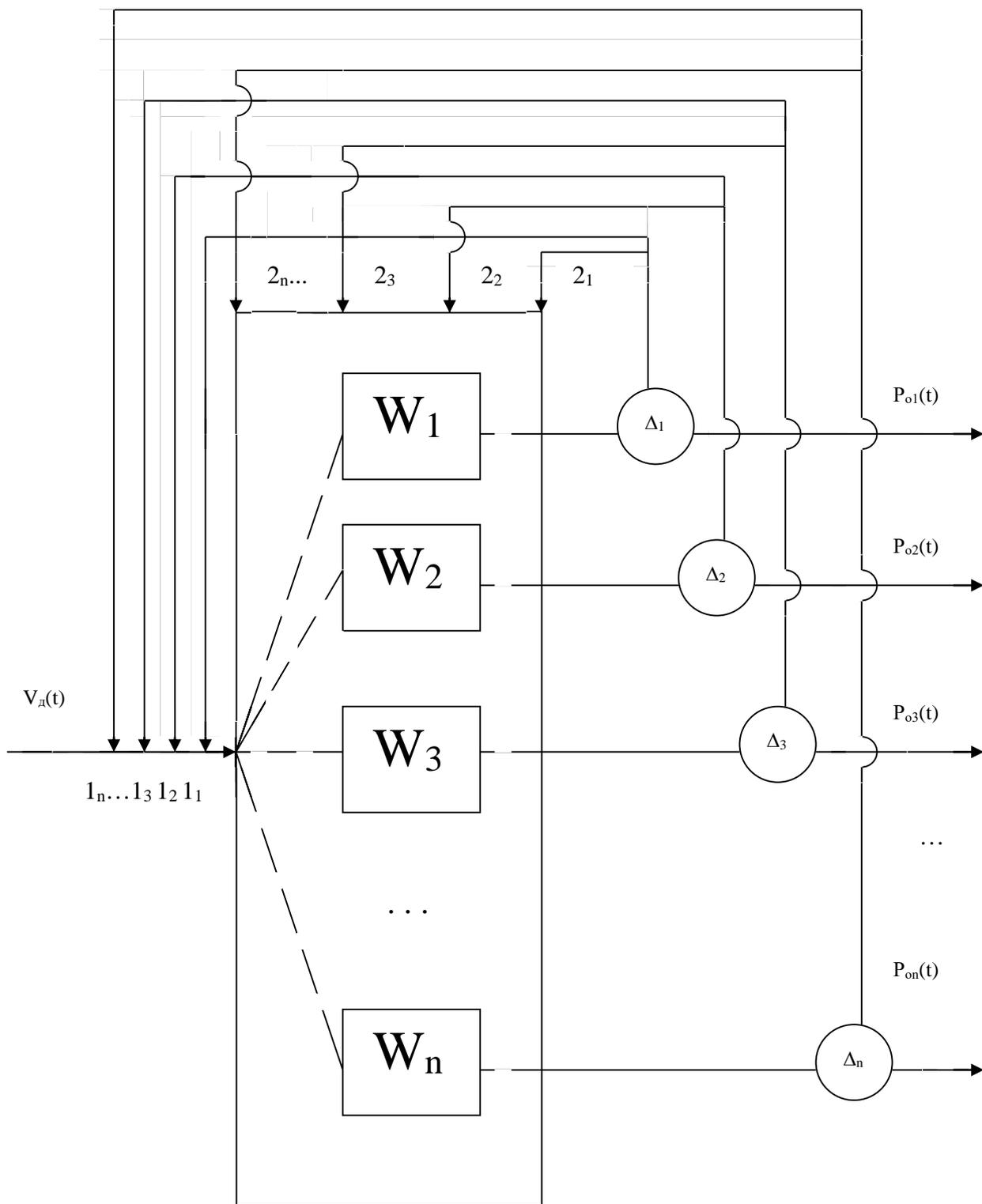


Рис.3 Модель управления активной безопасности
картофелеуборочного агрегата МТЗ-82+КПК -2-01

В свою очередь функция А выражается в следующем виде:

Приведенная блок-схема событий, определяющих вероятность травмирования 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.

На схеме (рис.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:

$$\begin{aligned}
 P_{o1i} &= t_{o1i} / (T_{cm} - \sum_{i=1}^m t_{o1i}), \\
 P_{o2i} &= t_{o2i} / (T_{cm} - \sum_{i=1}^m t_{o2i}), \\
 P_{o3i} &= t_{o3i} / (T_{cm} - \sum_{i=1}^m t_{o3i}), \\
 &\dots \quad \dots \quad \dots \\
 P_{oni} &= t_{oni} / (T_{cm} - \sum_{i=1}^m t_{oni}),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $T_{см}$ – общее время смены, ч;

$t_{оп i}$ – продолжительность устранения i –го технологического отказа картофелеуборочного агрегата, ч.

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 $P_{o1} \div P_{он}$ от настроенного за счет:

- влияния на параметры технологического процесса картофелеуборочного агрегата за счет соблюдения эксплуатационных допусков $\Delta_{э1} \div \Delta_{эн}$;

- 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 трудовой 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 $P_{o1}(t) \div P_{он}(t)$, принадлежности их к классу стационарных и линейности модели для управления активной безопасностью 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:

$$r_{б1}(i\omega) = S_{P_{o1} V_d}(\omega) / S_{P_{o1}}(\omega),$$

$$r_{б2}(i\omega) = S_{P_{o2} V_d}(\omega) / S_{P_{o2}}(\omega),$$

$$r_{б3}(i\omega) = S_{P_{o3} V_d}(\omega) / S_{P_{o3}}(\omega), \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
& \dots \qquad \qquad \qquad \dots \\
r_{\delta n}(i\omega) &= S_{P_{on} V_d}(\omega) / S_{P_{on}}(\omega); \\
[R_{\delta 1}(\omega)]^2 &= S_{P_{o1}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \\
[R_{\delta 2}(\omega)]^2 &= S_{P_{o2}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \\
[R_{\delta 3}(\omega)]^2 &= S_{P_{o3}}(\omega) / S_{V_d}(\omega), \qquad (3) \\
& \dots \qquad \qquad \qquad \dots \\
[R_{\delta n}(\omega)]^2 &= S_{P_{on}}(\omega) / S_{V_d}(\omega),
\end{aligned}$$

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:

$$[R_{B1}(\omega)]^2 = \frac{(\alpha_1 \omega^2 + 1) K_1^2}{C_{11} \omega^4 + C_{21} \omega^2 + 1},$$

$$W_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{23}S + 1}{T_{23}^2 S^2 + T_{33}S + 1}, \quad (6)$$

...

...

$$W_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{2n}S + 1}{T_{2n}^2 S^2 + T_{3n}S + 1};$$

$$W_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{11}^2 S^2 + \tau_{21}S + 1}{T_{11}^3 S^2 + T_{21}^2 S^2 + T_{31}S + 1},$$

$$W_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{12}^2 S^2 + \tau_{22}S + 1}{T_{12}^3 S^2 + T_{22}^2 S^2 + T_{32}S + 1},$$

$$W_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{13}^2 S^2 + \tau_{23}S + 1}{T_{13}^3 S^2 + T_{23}^2 S^2 + T_{33}S + 1}, \quad (7)$$

...

...

$$W_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{1n}^2 S^2 + \tau_{2n}S + 1}{T_{1n}^3 S^2 + T_{2n}^2 S^2 + T_{3n}S + 1}.$$

$$C_0 = T_1^6; C_1 = T_2^4; C_2 = T_3^2 - 2T_2^2; C_1^1 = T_2^4 - 2T_3T_1^3; d = \tau_2^2; d_1 = \tau_1^4; d_2 = \tau_2^2 - 2\tau_1^2; \\ \tau_1, \tau_2, T_1, T_2, T_3 -$$

где

постоянные, имеющие размерность времени;

K - коэффициент усиления.

Анализ амплитудно-частотных характеристик активной безопасности $[R_{б1}(\omega)]^2 \div [R_{бн}(\omega)]^2$ предполагает установление зависимостей коэффициентов 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 настройка-

ми 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 технологических 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 процесса $P_{o1}(t) \div P_{on}(t)$, 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 ω_{δ} – частота, соответствующая пику спектральной плотности $S_{P_o}(\omega)$ процесса $P_o(t)$.

Условие $(\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}) \rightarrow$ соответствует

$$[R_{\delta 1}(0)]^2 = K_1^2 = f(\Pi_{H1}),$$

$$[R_{\delta 2}(0)]^2 = K_2^2 = f(\Pi_{H2}),$$

$$[R_{\delta 3}(0)]^2 = K_3^2 = f(\Pi_{H3}), \tag{8}$$

... ..

$$[R_{\delta n}(0)]^2 = K_{1n}^2 = f(\Pi_{Hn}),$$

а условие $(D_{\delta 1} \div D_{\delta n}) \rightarrow \min$ соответствует

$$[R'_{\delta 1}(\omega)]^2 = 0$$

$$[R'_{\delta 2}(\omega)]^2 = 0$$

$$[R'_{\delta 3}(\omega)]^2 = 0 \tag{9}$$

... ..

$$[R'_{\delta n}(\omega)]^2 = 0$$

где $[R'_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R'_{\delta n}(\omega)]^2$ – первые производные амплитудно-частотных характеристик активной безопасности картофелеуборочного агрегата соответственно по $\Pi_{н1} \div \Pi_{нн}$.

Сопоставляя значения $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$ 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 Π_n через приравнение к нулю первых производных функций $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$ 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 $[R_{\delta 1}(\omega)]^2 \div [R_{\delta n}(\omega)]^2$ 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

$$(\omega_{\delta 1} \div \omega_{\delta n}) \rightarrow 0; (D_{\delta 1} \div D_{\delta n}) \rightarrow \min ,$$

где ω_{δ} – частота, соответствующая пику спектральной плотности $S_{P_0}(\omega)$ процесса $P_0(t)$.

Для решения поставленной задачи устанавливается зависимость между средними значениями M_p и M_v . Через приравнение к нулю первой произ-

водной $M_p = f(M_v)$ 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 агрегатат от настроечного уровня $V_{дн}$ и определяются спектральные плотности $S_{V_{дн}}(\omega)$, $S_{V_{д+\Delta_3}}(\omega)$, $S_{V_{д-\Delta_3}}(\omega)$, соответственно при настроечном, верхнем и нижнем допускаемом 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 $S_{V_{дн}}(\omega)$, $S_{V_{д+\Delta_3}}(\omega)$, $S_{V_{д-\Delta_3}}(\omega)$. 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 Π_n рассчитываются $[R_{\delta}(\omega)]_p^2$ при рациональном значении Π_n , верхнем $\Pi_n + \Delta_n$ $[R_{\delta}(\omega)]_+^2$ и нижнем $\Pi_n - \Delta_n$ $[R_{\delta}(\omega)]_-^2$ его уровнях.

Для выбора минимального $\sigma_{P_0 \min}$ и максимального $\sigma_{P_0 \max}$ значения среднего квадратического отклонения σ_{P_0} процесса $P_0(t)$ рассчитываются его значения при всех возможных сочетаниях параметров $V_d(t)$ и $[R_{\delta}(\omega)]^2$ в пределах соответствующих полей допусков из соотношений:

$$\sigma_{P_01} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{дн}}(\omega) [R_{\delta}(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{P_02} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{дн}}(\omega) [R_{\delta}(\omega)]_+^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po3} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h}}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po4} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} + \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po5} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} + \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_+^2 d\omega}, \quad (10)$$

$$\sigma_{Po6} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} + \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po7} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} - \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_p^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po8} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} - \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_+^2 d\omega},$$

$$\sigma_{Po9} = \sqrt{\int_0^{\omega_k} S_{V_{\mathcal{L}h} - \Delta_3}(\omega) [R_{\bar{\sigma}}(\omega)]_-^2 d\omega}.$$

Второй уровень управления безопасностью труда в изучаемой ситуации основан на модели, представленной на рис. 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;

Δ^1 – интегральный допуск на параметры процесса $P_T(t)$, значения которого находятся в зависимости от степени соблюдения исполнительного до-

пуска $\Delta_{и}'$ (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 $[r_{б}(\omega)]^2$ 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 $[r_{б}(\omega)]^2$ и параметры, определяющие их форму и модуль. Оптимизация параметров $[r_{б}(\omega)]^2$ 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.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 карто-

фелеуборочного 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. $P_{эн} = P_T = 1$. 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.5, а. При необходимости можно построить зависимости $P_T = f(P_o)$ при различной длине незащищенной зоны карданного вала (рис.5,б), которые можно рассматривать как исходные требования к проектированию конструкций и определению параметров систем “защитный кожух - карданный вал”.

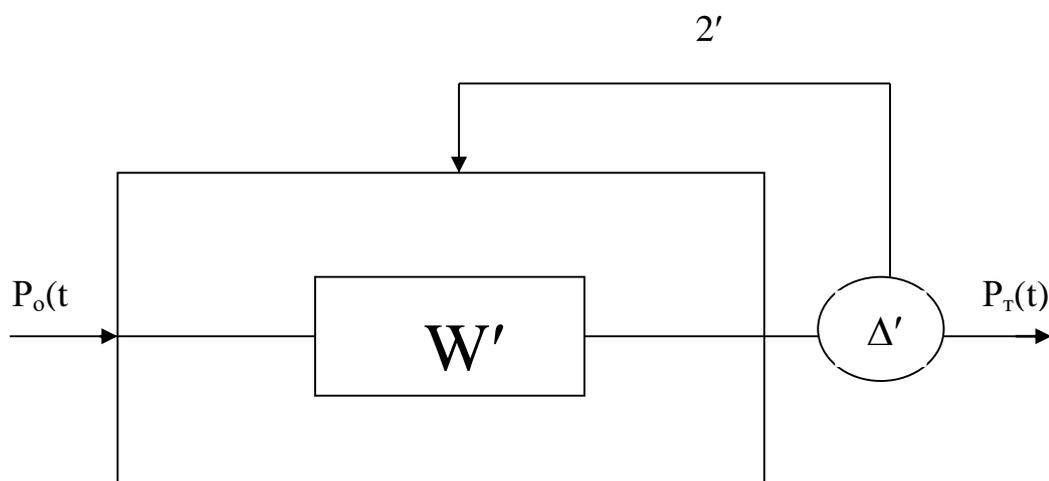


Рис.4. Модель управления пассивной безопасности картофелеуборочного агрегата МТЗ-82+КПК-2-01

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.

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. 6) состоит из валов-вилок 1 и 2, связанных с карданным валом агрегата и шлицевой втулки 3, сопрягаемой своей шлицевой

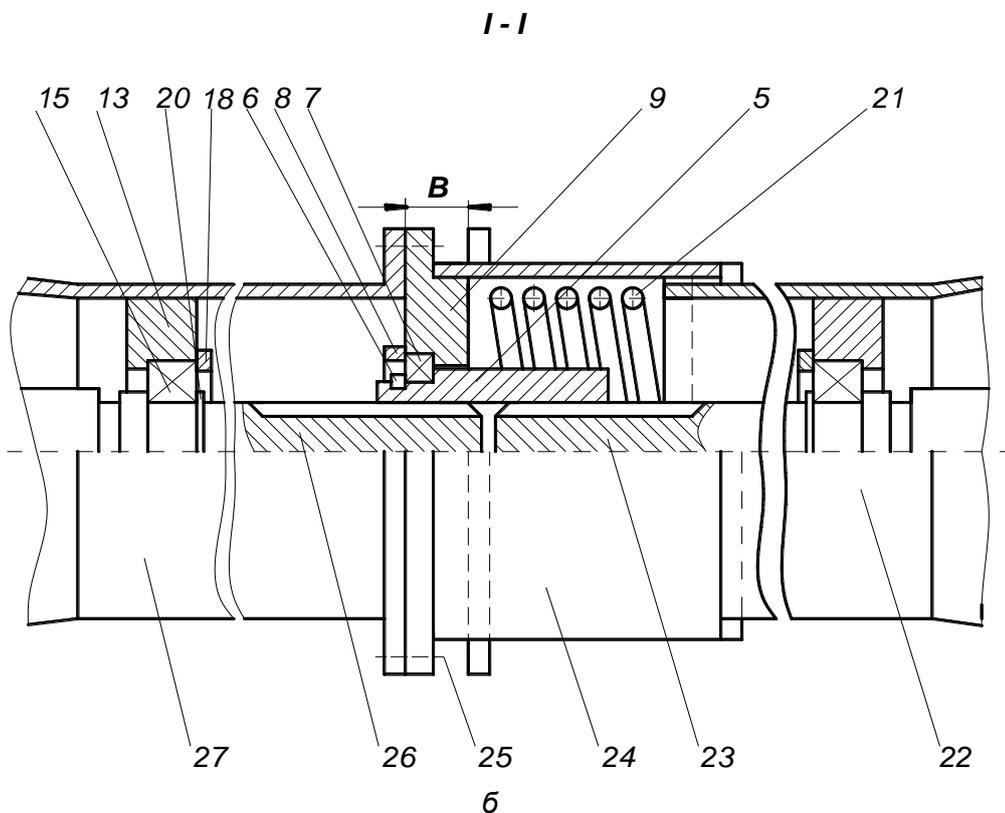


Рис. 6: а, б – Предохранительное устройство карданного вала на базе серийного защитного кожуха:
а – общий вид; б – вид 1-1 (механизм включения-выключения)

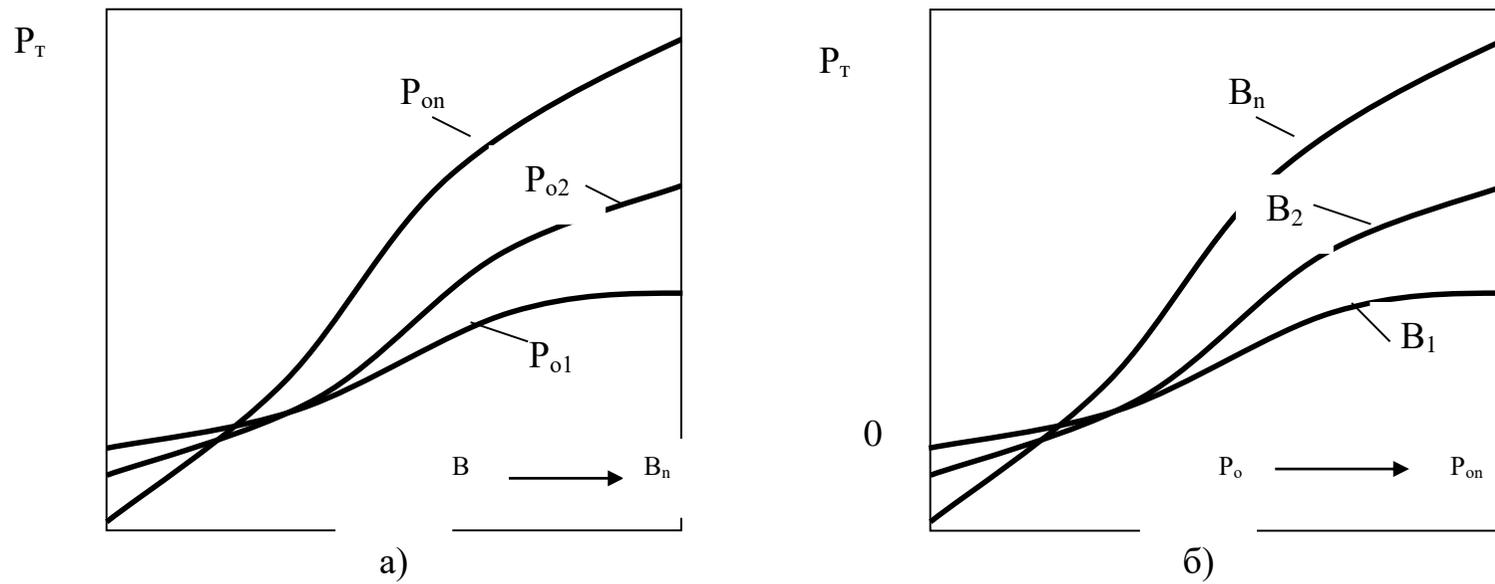


Рис.5. Схема зависимостей $P_T = f_1(B)$ при различных значениях P_o (а) и $P_T = f_2(P_o)$ при различных значениях B (б)

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. 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 невыключенном 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 B' элемента 10.

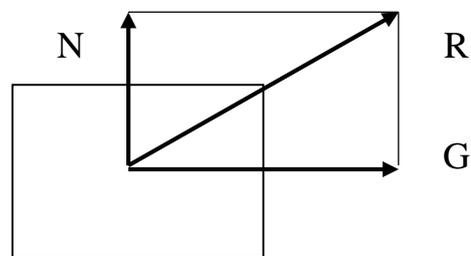


Рис. 7. План сил при снятии защитного кожуха карданного вала при включенном ВОМ.

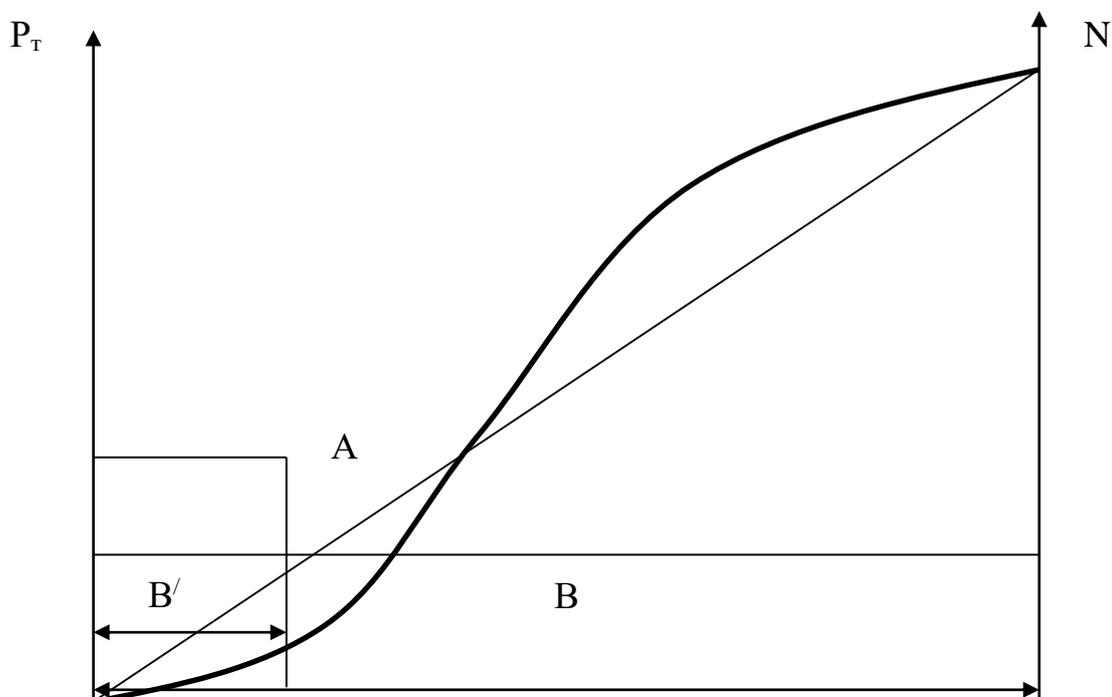


Рис. 8. Схема определения вероятности травмирования в целях обеспечения безопасности операторов картофелеуборочного

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

$$Q = F_{\text{тр}} + P, \quad (11)$$

где $F_{\text{тр}}$ – усилие трения в парах шлицевой вал – шлицевая втулка, возникающее при осевом сдвиге втулки под нагрузкой M_{xx} ;

P – сила пружины 11 (рис.6).

Усилие трения

$$F_{\text{тр}} = \mu' \times P_0, \quad (12)$$

где $\mu' = 0,06$ – коэффициент трения по стали со смазкой;

$P_0 = M_{\text{xx}}/r_d$ – 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. 6) в конце ее сжатия, т.е. в нормальном положении элемента 10 при сочленении ВОМ с ВПМ должно относительно легко преодолеваться механизатором с некоторыми среднестатистическими 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.6).

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. 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 $F_{тр}' \geq G$. Тогда $F_{тр}' \geq G = N \mu''$. Откуда

$N \geq G / \mu''$, а результирующая сила

$$R = \sqrt{G^2 + G^2 / \mu''^2} = G \sqrt{1 + 1 / \mu''^2}. \quad (13)$$

При известных $M_{xx} = 45$ Нм и $r_d = 15$ мм найдем, что $P_0 = 300$ кг. При коэффициенте трения закаленной стали со смазкой $\mu'' = 0,06$, $P_0 = 18$ кг. Тогда $G = 18 + P_{пр}$. Если ограничить значением 50 кг, соответствующем нормативу поднимаемого и переносимого груза для мужчин, и принять коэффициент трения μ'' кожи рук или рукавиц по стали 0,5, то формула (29) после подстановки известных значений G и μ'' примет вид

$$50 = (18 + P_{пр}) \sqrt{1 + 1 / 0,25},$$

откуда можно определить, что при усиллии $R = 50$ кг, затрачиваемом на сдвиг элемента 10 (рис.3.6) на пружину приходится усилие $P_{пр} \approx 30$ кг. Тогда согласно характеристики пружины получим ширину незащищенной зоны $B = 30$ мм.

Если принять предпосылку о линейном характере зависимости вероятности травмирования вследствие наматывания на карданный вал P_T от

шири-ны опасной зоны B (см. кривую рис. 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 μ' , μ'' , а также предельного значения нагрузки для мужчин. Поэтому предусмотрена соответствующая проверка.

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;

Список используемых источников

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Белова Т.И. Минимизация травмоопасных ситуаций операторов картофелеуборочных агрегатов.-Инф.л. № 58-93.-Брянск: ЦНТИ, 1993.-4с.
8. 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.
9. Дэвид Браун Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники

безопасности.-М.: Машиностроение, 1979.-359с.

10. Елисейкин В.А. Идентификация и пути снижения опасностей при технологических отказах сельскохозяйственных машин / Дисс...д-ра техн. наук.-Красноярск, 1997.-43с.

11. 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.

12. 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.

2. Курс лекций по дисциплине

Тема1 Опасности и защита от них

Лекция 1 Природа и характеристика опасностей в техносфере

Рассматриваемы вопросы

1. Основные термины и определения
2. Аксиомы безопасности
3. Классификация опасностей и их характеристика

1. Основные термины и определения

Безопасность жизнедеятельности - наука о сохранении здоровья и жизни человека в среде обитания, научная дисциплина изучающая опасности, закономерности их развития, способы и средства защиты от них.

Жизнедеятельность - совокупность всех форм человеческой активности.

Биосфера - область распространения жизни на земле, вкл нижний слой атмосферы, гидросферы, верхний слой литосферы, не испытывавшие техногенного воздействие.

Техносфера - регион биосферы в прошлом преобразованный людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств целях улучшения материальных и социальных потребностей.

Среда обитания - окружающая человека среда, обусловленная в данный момент совокупностью факторов, способная оказать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность человека, здоровье, потомство.

Происшествие - событие, состоящее из негативных воздействий с причин ущерба людскими, природным или материальными ресурсами.

Авария - происшествие в технической системе, не сопровождающее

гибелью людей, при котором восстановление технических средств невозможно или экономически невыгодно.

Катастрофа - происшествие в технической сфере, сопровождающее пропажей безвести людей или гибелью.

Опасность - угроза, негативные свойства живой и неживой материи, способное причинить ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям.

Безопасность - такое состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает тах допустим значений.

2. Аксиомы безопасности

Аксиомы безопасности:

- техногенные опасности существуют, если повседневные потоки вещества, энергии и информации в техносфере превышают пороговые значения;

- источниками техногенных опасностей являются элементы техносферы;

- техногенные опасности действуют в пространстве и во времени;

- техногенные опасности оказывают негативное воздействие на человека, природу и элементы техносферы одновременно;

- техногенные опасности ухудшают здоровье людей, приводят к травмам, материальным потерям, деградации природной среды;

- защита от техногенных опасностей достигая совершенствованием источника опасности, увеличивает расстояние между источником опасности и объектом защиты;

- компетентность людей в мире опасности и способах защиты от них необходимые условия достижения безопасности жизнедеятельности.

3. Классификация опасностей и их характеристика

По происхождению опасности делят на естественные, техногенные и антропогенные. Естественные опасности обусловлены климатическими и при-

родными явл. Возникают при изменении погодных условий и стихийных явлений. Человек воздействует на окружающую среду (ОС) своей деятельностью и продуктами деятельности, создавая в ОС техногенные и антропогенные опасности. Техногенные опасности создают элементы техносферы - машины, сооружения, вещества. Производственные опасности: запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, повышенные или пониженные параметры атмосферного воздуха (температура, влажность, подвижность воздуха, давление), недостаточное и неправильное освещение, монотонность деятельности, тяжелый физический труд, электрический ток, падающие предметы, высота, движущиеся машины и механизмы, части разрушающихся конструкций. Антропогенные опасности возникают в результате ошибочных действий человека или групп людей.

По видам потоков в жизненном пространстве опасности делят на массовые, энергетические и информационные, а по интенсивности на опасные и чрезвычайно опасные. По длительности воздействия опасности классифицируют на постоянные, переменные и импульсные.

Постоянные опасности действуют в течение рабочего дня, суток. Переменные опасности характерны для условий реализации циклических процессов: шум в зоне аэропорта или около транспортной магистрали.

По видам зоны воздействия опасности делят на производственные, бытовые, городские зон чрезвычайных ситуаций.

По размерам зоны воздействия опасности классифицируют на локальные, региональные, межрегиональные и глобальные.

По степени завершенности воздействия опасности на объекты защиты делят на потенциальные, реальные и реализованные.

Потенциальная опасность представ угрозу общего характера, не связанную с пространством и временем воздействия. Реальная опасность всегда связана с конкретной угрозой воздействия на объект защиты (человека); она координирована в пространстве и во времени. Реализованная опасность - факт воздействия реальной опасности на человека и/или среду обитания, приведший к

потере здоровья или к летальному исходу человека, к материальным потерям.

Техногенная опасность - состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной чрезвычайной ситуации на человека и окружающую среду при его возникновении, либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов. К техногенным относятся чрезвычайные ситуации, происхождение которых связано с производственно-хозяйственной деятельностью человека на объектах техносферы. Как правило, техногенные ЧС возникают вследствие аварий, сопровождающихся самопроизвольным выходом в окружающее пространство вещества и (или) энергии. Базовая классификация ЧС техногенного характера строится по типам и видам чрезвычайных событий, инициирующих ЧС транспортные аварии (катастрофы); пожары, взрывы, угроза взрывов; аварии с выбросом (угрозой выброса) ХОВ; аварии с выбросом (угрозой выброса) РВ; аварии с выбросом (угрозой выброса) биологически опасных веществ; внезапное обрушение зданий, сооружений; аварии на электроэнергетических системах; аварии в коммунальных системах жизнеобеспечения; аварии на очистных сооружениях; гидродинамические аварии.

К зонам со значительными техногенными опасностями относятся транспортные магистрали, зоны излучения радио- и телепередающих систем, промышленные зоны и т. п. Возможно проявление опасности при использовании человеком на производстве и в быту технических устройств: электрических сетей и приборов, станков, ручного инструмента, газовых баллонов и газовых сетей, оружия и т. п. Возникновение опасности в таких случаях связано, как правило, с наличием неисправностей в технических устройствах или неправильными действиями человека при их использовании. Уровень опасности при этом определяется энергетическими показателями технических устройств, которые существенно возросли в XX столетии, поскольку человек получил в свое распоряжение мощную технику, огромные запасы

углеводородного сырья, химических и бактериологических веществ. Промышленные предприятия, объекты энергетики, связи и транспорт являются основными источниками энергетического загрязнения промышленных регионов, городской среды, жилищ и природных зон. К энергетическим загрязнениям относят вибрационное и акустическое воздействия, электромагнитные поля и излучения, воздействия радионуклидов и ионизирующих излучений. Вибрации в городской среде и жилых зданиях, источниками которых являются технологическое оборудование ударного действия, рельсовый транспорт, строительные машины и тяжелый автотранспорт, распространяются по грунту. Значительные вибрации и шум в жилых зданиях могут создавать расположенные в них технические устройства (насосы, лифты, трансформаторы и т. п.). Шум в городской среде и жилых зданиях создается транспортными средствами, промышленным оборудованием, санитарно-техническими установками и устройствами и др. На городских магистралях и в прилегающих к ним зонах уровни звука могут достигать 70...80 дБА, а в отдельных случаях 90 дБА и более. В районе аэропортов уровни звука еще выше. Источники инфразвука могут быть как естественного происхождения (обдувание ветром строительных сооружений и водной поверхности), так и техногенного (подвижные механизмы с большими поверхностями - виброплощадки, виброгрохоты; ракетные двигатели, ДВС большой мощности, газовые турбины, транспортные средства). В отдельных случаях уровни звукового давления инфразвука могут достигать нормативных значений, равных 90 дБ, и даже превышать их на значительных расстояниях от источника. Основными источниками электромагнитных полей (ЭМП) радиочастот являются радиотехнические объекты (РТО), телевизионные и радиолокационные станции (РЛС), термические цехи и участки (в зонах, примыкающих к предприятиям). Воздействие ЭМП промышленной частоты чаще всего связано с высоковольтными линиями (ВЛ) электропередач, источниками постоянных магнитных полей, применяемыми на промышленных предприятиях. Зоны с повышенными уровнями ЭМП, источниками которых могут быть РТО и РЛС,

имеют размеры до 100... 150 м. При этом даже внутри зданий, расположенных в этих зонах, плотность потока энергии, как правило, превышает допустимые значения. ЭМП промышленной частоты в основном поглощаются почвой, поэтому на небольшом расстоянии (50... 100 м) от линий электропередач электрическая напряженность поля падает с десятков тысяч вольт на метр до нормативных уровней.

Значительную опасность представляют магнитные поля, возникающие в зонах около ЛЭП токов промышленной частоты, и в зонах, прилегающих к электрифицированным железным дорогам. Магнитные поля высокой интенсивности обнаруживаются и в зданиях, расположенных в непосредственной близости от этих зон. В быту источниками ЭМП и излучений являются телевизоры, дисплеи, печи СВЧ и другие устройства.

Электростатические поля в условиях пониженной влажности (менее 70 %) создают паласы, накидки, занавески и т. д. Микроволновые печи в промышленном исполнении не представляют опасности, однако неисправность их защитных экранов может существенно повысить утечки электромагнитного излучения. Экраны телевизоров и дисплеев как источник электромагнитного излучения в быту не представляют большой опасности даже при длительном воздействии на человека, если расстояния от экрана превышают 30 см. Однако служащие отделов ЭВМ испытывают недомогание при регулярной длительной работе в непосредственной близости от дисплеев.

Деятельность человека является важным, необходимым звеном, обеспечивающим взаимосвязь технических систем. При этом человек, оперируя энергетическими и информационными потоками, решает задачи, состоящие из ряда этапов: восприятие информации; ее оценка, анализ и обобщение на основе заранее заданных и сформулированных критериев, принятие решения о дальнейших действиях, исполнение принятого решения. Однако на всех этапах деятельности возможны ошибочные действия человека. Анализ данных по техногенным авариям и катастрофам показывает, что значительная доля опасностей возникает в результате ошибочных, неправильно принятых

человеком решений, когда он сам становится источником опасности. По статистике около 45 % аварийных ситуаций на АЭС, свыше 60 % аварий на объектах с повышенным риском, 80 % авиакатастроф и катастроф на море, а также 90 % автомобильных аварий происходит из-за неправильных действий людей. **Ошибка** определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение человеком запрещенного действия), которое может явиться причиной тяжелых последствий - травм, гибели людей, повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального хода запланированных операций. Ошибки по вине человека могут происходить в различных сферах и условиях его жизнедеятельности:

- на отдыхе, во время путешествия, при занятии спортом: при управлении автотранспортом; неосторожном обращении с огнем, острыми предметами, оружием; при купании в водоемах; во время путешествия в горах; на тренировках и соревнованиях по различным видам спорта;

- в быту: при использовании электроприборов, бытового газа, открытого огня, ядохимикатов, инструмента и приспособлений; при обращении с бытовыми отходами, кипящими жидкостями, с предметами, содержащими ртуть; потреблении недоброкачественных продуктов, алкоголя, медикаментов и т. д.; в сфере производственной деятельности: при нарушении установленного режима работы и бездействии в момент, когда его участие в процессе деятельности необходимо;

- в чрезвычайных ситуациях естественного и техногенного происхождения, связанные, как правило, с неподготовленностью людей к действиям в ЧС; с неумением их предвидеть, например при обращении с горючими и взрывчатыми веществами или управлении сложными техническими системами; при сходе лавин, селей и т. п.; при общении людей между собой: источниками ошибок могут быть непорядочность, небрежность, месть, ревность, оскорбления, религиозные и национальные конфликты и т. п.; при управлении экономикой и государственной деятельностью - ошибки часто обусловлены стремлением людей нарушить законы природы

Лекция 2 Обеспечение безопасности человека и технических систем

Рассматриваемые вопросы:

1. Методы и способы снижения воздействия опасностей на человека и окружающую среду
2. Характеристика методов и способов снижения воздействия опасностей на человека и окружающую среду
3. Защита от влияния инфракрасного излучения, высоких и низких температур
4. Основные направления защиты окружающей среды от глобального воздействия техносферы

1. Методы и способы снижения воздействия опасностей на человека и окружающую среду

Опасности, реализуемые в виде недопустимых для человека потоков вещества, энергии и информации, могут существенно снизить эффективность трудовой деятельности человека, ухудшить его здоровье или привести к летальному исходу. Для устранения этих нежелательных эффектов необходимо снижать уровень действующих на человека потоков как минимум до допустимых значений.

Принципиально эту задачу можно решать:

- снижением потоков в опасных зонах около источника опасности;
- выводением человека из зоны действия опасности;
- применением средств защиты на путях распространения опасных потоков к зоне пребывания человека.

2. Характеристика методов и способов снижения воздействия опасностей на человека и окружающую среду

Снижение потоков в опасных зонах около источника опасности достигается **сокращением размеров опасных зон**; Для ограничения вредного воздей-

ствия на человека и среду обитания к технической системе предъявляются требования по величине выделяемых в среду токсичных веществ в виде предельно допустимых выбросов или сбросов (ПДВ или ПДС), а также по величине энергетических загрязнений в виде предельно допустимых излучений в среду обитания. Значения ПДВ и ПДС определяют расчетом, исходя из значений ПДК в зонах пребывания человека. Величины предельных излучений находят, исходя из предельно допустимых уровней (ПДУ) воздействия загрязнения и расстояния между источником излучения и зоной пребывания человека.

Уменьшение отходов систем при их эксплуатации - радикальный путь к снижению воздействия вредных факторов.

Наибольшие трудности в ограничении размеров зон воздействия травмирующих факторов возникают при эксплуатации технических систем повышенной энергоемкости (хранилищ углеводородов, химических производств, АЭС и т.д.). При авариях на таких объектах травмоопасные зоны охватывают, как правило, не только производственные зоны, но и зоны пребывания населения. Основными направлениями в ограничении размеров зон травмоопасности таких объектов являются:

- совершенствование систем безопасности объектов;
- непрерывный контроль источников опасности;
- достижение высокого профессионализма операторов технических систем.

Совершенство технической системы по травмоопасности оценивают величиной допустимого риска.

Снижение травмоопасности технических систем достигается их совершенствованием с целью реализации допустимого риска.

Варьируя взаимным расположением опасных зон и зон пребывания человека в пространстве, можно существенно влиять на решение задач по обеспечению безопасности жизнедеятельности. Радикальным способом обеспечения безопасности является разведение в пространстве опасных зон и зон пребывания человека. Разводить опасные зоны и зоны пребывания человека можно не только в пространстве, но и во времени, реализуя чередование

периодов действия опасностей и периодов наблюдения за состоянием технических систем.

Экобиозащитная техника - это средства защиты человека и природной среды от опасных и вредных факторов. Для уменьшения зон действия травмирующих факторов технических систем применяют экобиозащитную технику в виде различных ограждений, защитных боксов и т. п.

Защита атмосферы от вредных веществ производится с помощью очистки производственных воздушных выбросов от пыли, тумана, вредных газов и паров.

Для очистки от пыли сухими методами используется пылеуловители, работающие на основе гравитационных, инерционных, центробежных или электростатических механизмов осаждения, а также различные фильтры.

Очистка тумана производится электрофильтрами и фильтрами из различных материалов (волокна, ткань, керамика и др.). При этом осуществляется поглощение вредных газов пористыми материалами - абсорбентами.

Защита гидросферы осуществляется с помощью очистки сточных вод от загрязняющих их примесей, для чего используются очистные сооружения, через которые должны пропускаться все сточные воды промышленных предприятий и городской канализации.

При дезодорации удаляются дурно пахнущие вещества, при дегазации удаляются агрессивные газы (например, аммиак удаляется продувкой воздуха).

Основные усилия при создании экобиозащитной техники направлены на локализацию источников негативного воздействия, снижение уровня энергетического воздействия факторов на человека и окружающую среду.

На предприятиях существуют такие виды работ или условия труда, при которых работающий может получить травму или иное воздействие, опасное для здоровья. Еще более опасные условия для людей могут возникнуть при авариях и при ликвидации их последствий. В этих случаях для защиты человека необходимо применять средства индивидуальной защиты. Их использование должно обеспечивать максимальную безопасность, а неудобства, свя-

занные с их применением, должны быть сведены к минимуму.

Для защиты от естественных источников опасности не применима защита совершенствованием свойств источника и мало применима защита расстоянием. Последнее возможно лишь при принятии стратегически важных решений по выбору зон пребывания человека. Например, при выборе зоны строительства опасного объекта экономики (АЭС и др.), при прокладке транспортных магистралей в горной местности и т.п. Защита от естественных опасностей обычно реализуется применением коллективных средств защиты (вентиляция, отопление, освещение и т. п.), а в критических ситуациях и применением средств индивидуальной защиты.

При организации воздухообмена в помещениях необходимо учитывать и физические свойства вредных паров и газов и в первую очередь их плотность. Если плотность газов ниже плотности воздуха, то удаление загрязненного воздуха происходит в верхней зоне, а подача свежего - непосредственно в рабочую зону. При выделении газов с плотностью, большей плотности воздуха, из нижней части помещения удаляется 60...70% и из верхней части 30...40% загрязненного воздуха. В помещениях со значительными выделениями влаги вытяжка влажного воздуха осуществляется в верхней зоне, а подача свежего в количестве 60% - в рабочую зону и 40 % - в верхнюю зону.

По способу подачи и удаления воздуха различают четыре схемы общеобменной вентиляции: приточная, вытяжная, приточно-вытяжная и системы с рециркуляцией.

3. Защита от влияния инфракрасного излучения, высоких и низких температур

Ведущая роль в профилактике вредного влияния высоких температур, инфракрасного излучения принадлежит технологическим мероприятиям: замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, способствующих оздоровлению неблагоприятных условий труда. Внедрение

автоматизации и механизации дает возможность пребывания рабочих вдали от источника радиационной и конвекционной теплоты. К группе санитарно-технических и организационных мероприятий относится применение коллективных средств защиты: локализация тепловыделений, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование источников либо рабочих мест; воздушное душирование, радиационное охлаждение, мелкодисперсное распыление воды; общеобменная вентиляция или кондиционирование воздуха. Общеобменной вентиляции при этом отводится ограниченная роль - доведение условий труда до допустимых с минимальными эксплуатационными затратами.

Уменьшению поступления теплоты в цех способствуют мероприятия, обеспечивающие герметичность оборудования (локализация тепловыделений). Плотно подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических отверстий с работой оборудования - все это значительно снижает выделение теплоты от открытых источников. Выбор теплозащитных средств в каждом случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. Устанавливаемые в цехе теплозащитные средства должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания, не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 и температуру поверхности оборудования не выше 35°C при температуре внутри источника до 100°C и не выше 45°C при температурах внутри источника выше 100°C .

4. Основные направления защиты окружающей среды от глобального воздействия техносферы

Основными направлениями защиты окружающей среды от глобального

воздействия техносферы являются:

- перенос загрязнений атмосферного воздуха на большие расстояния;
- закисление окружающей среды, обусловленное кислотными осадками;
- парниковый эффект и потепление климата;
- разрушение озонового слоя;
- воздействие тропосферного озона;
- радиоактивное загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы;
- загрязнение околоземного космического пространства

Реализация коллективной защиты человека от повседневного воздействия негативных биотических факторов достигается путем:

- устройства систем искусственного освещения;
- обеспечения допустимых параметров микроклимата;
- применения систем защиты человека от холода и перегрева;
- использования систем воздухо- и водоподготовки;
- контроля качества пищевых продуктов;
- устройства молниезащиты.

Тема 2 Моделирование опасных процессов в техносфере

Лекция 3. Общие принципы моделирования опасных процессов в техносфере

Рассматриваемые вопросы:

- 1 Общие сведения
- 2 Классификация моделей и методов моделирования в техносфере
- 3 Обобщенная структура моделирования процессов в техносфере

1 Общие сведения

Под системным анализом подразумевается одно из направлений системного подхода к изучению больших и/или сложных систем, предполагающее мысленное расчленение сложного объекта (целого) для выявления его наиболее существенных частей - компонентов и свойств.

Системный синтез - второе направление системного подхода, концентрирующее внимание на органическом соединении различных частей рассматриваемого сложного объекта в единое, целостное образование, уже обладающее качественно новыми свойствами, включая и способность к самоорганизации путем усложнения и дифференциации.

Иначе говоря, системный анализ и системный синтез - это такая форма исследования какого-либо целого и его частей, которая направлена на выявление в них совокупности системообразующих компонентов или свойств и устойчивых связей, необходимых для образования уже качественно нового объекта. При этом такие компоненты, свойства и связи должны быть стабильными, т. е. сохраняться при внешних и внутренних возмущениях.

Особенность моделирования процесса функционирования конкретной системы и любого другого сложного объекта состоит в необходимости их одновременного представления сразу в трех подпространствах:

- входы - множество воздействий на объект со стороны внешней среды;
- состояния – совокупность его внутренних свойств, определяющих (совместно со входами) выходные реакции объекта;
- выходы - множество возможных откликов моделируемого объекта.

Соответствующие параметры всех этих пространств в общем случае считаются факторами, изменяющимися во времени.

Вторым (после системного анализа) обобщенным этапом исследования и совершенствования сложных объектов является системный синтез. Считается, что процедура его практического использования основывается на обосновании и реализации оптимальных (наилучших в некотором смысле) или рациональных решений, а основными подходами по их отысканию служат эвристический поиск и нахождение экстремума методами математического анализа или математического программирования.

С определенной условностью, все эвристические приемы поиска искомого решения могут быть разделены на интуитивные, дедуктивные и индуктивные. Принципиальным отличием приемов первого типа является то, что полученные с их помощью результаты не всегда подлежат обоснованию в том смысле, как это принято в формальной логике, а потому и не могут быть воспроизведены или объективно проверены другими лицами. Напротив, два других способа принятия решений тесно связаны с соответствующими логическими методами построения умозаключений. В частности, дедуктивный метод использует в качестве исходных посылок общепринятые закономерности, а следствий – их проявление в конкретных условиях. Индуктивный же метод базируется на полном или упорядоченном переборе всех тех вариантов искомого решения, которые не противоречат объективно действующим законам природы.

Что касается методики поиска экстремальных (наименьших и наибольших) количественных результатов решения оптимизационных задач, то она довольно подробно описана в соответствующих учебниках по высшей математике (математический анализ) и ее прикладным разделам (линейное, нелинейное и другие виды математического программирования).

Обобщенная процедура совместного применения методов системного анализа и синтеза сложных объектов представлена на рисунке 1.

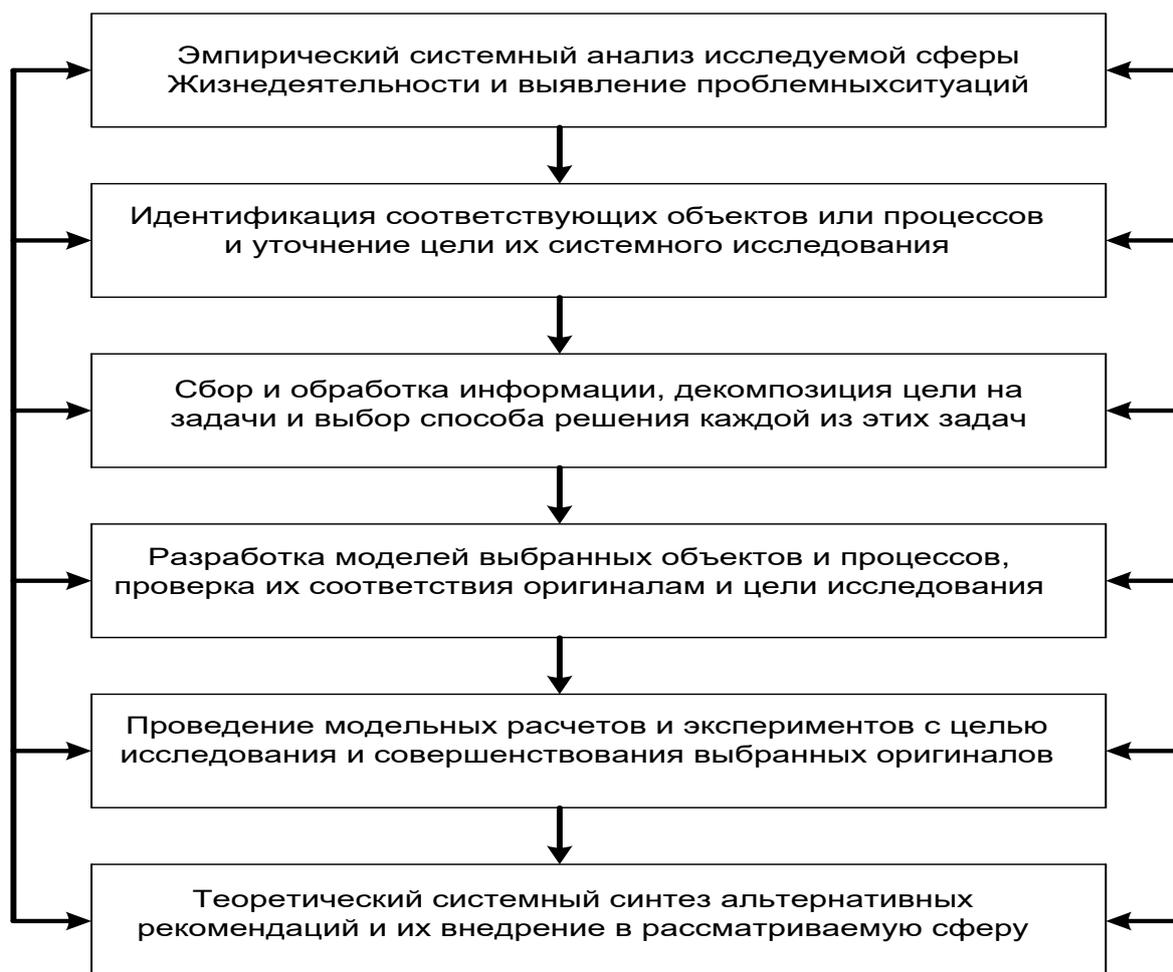


Рисунок 1 - Основные этапы системного анализа и системного синтеза

Важное место в исследовании опасных процессов в техносфере занимает их моделирование. Дело в том, что полученные при этом результаты являются основой для последующего системного анализа условий появления техногенных происшествий и системного синтеза мероприятий по их предупреждению и/или снижению возможного ущерба.

Модель – такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые его важные для данного исследователя типичные черты.

Моделирование - процесс построения и использования модели. Все модели и методы моделирования с определенной условностью могут быть разделены на следующие наиболее общие классы: - материальные (реально существующие); – идеальные (мысленно воображаемые).

Примерами материальных моделей служат лабораторные установки, макеты автомашин, манекенщицы, а идеальных - описание или представление любых явлений, процессов и предметов с помощью графических и математических символов и даже слов. Кроме того, среди моделей последней группы иногда выделяют когнитивный тип модели, понимая под ним мысленный образ конкретных объектов, допустим, персонажей какого-либо прочитанного вами литературного произведения.

Поскольку один и тот же объект может восприниматься разными людьми по-разному, то и создаваемая ими модель зависит от множества субъективных факторов - объема и качества знаний, особенностей мышления и эмоционального состояния, ряда других причин, зачастую не доступных рациональному осознанию. Естественно, что по этим же причинам всегда будут отличаться между собой и модели одного и того же объекта, создаваемые разными людьми или тем же самым человеком, но, например, в разном возрасте.

Второй (после субъективности восприятия) особенностью моделей служит их относительная неполнота. Дело в том, что при моделировании исследователь всегда исходит из вполне определенной цели, учитывая только наиболее существенные для ее достижения факторы. Поэтому любая созданная им модель не 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 уместно сказать следующее: 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. Для сложного объекта можно создать множество разных моделей, отличающихся по степени полноты, адекватности и сложности.

Наконец, говоря о предсказательности модели, обычно имеют в виду ее пригодность для получения новых знаний об объекте-оригинале. Обосновано 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, иногда называемое «богатством» модели, позволяет ей выступать в качестве самостоятельного объекта исследования.

Следующая (после особенностей) группа характеристик моделей касается предназначения, а точнее, тех функций, ради которых они и создаются.

Кратко ознакомимся с совокупностью соответствующих черт, важных как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Самым важным и наиболее распространенным предназначением моделей является их применение в целях исследования и прогнозирования поведения сложных процессов и явлений.

По этим причинам, проведению крупных и/или сложных экспериментов всегда должно предшествовать создание и исследование различных моделей, вначале идеальных, а затем и материальных, при необходимости. Тем более что в последнее время появилась мощная электронно-вычислительная техника, позволяющая проводить так называемые машинные эксперименты - не столь дорогостоящие и в то же время довольно обстоятельные (учитывающие колоссальное число объективно действующих факторов).

Второе, не менее важное предназначение моделей состоит в том, что с их помощью выявляются наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства объекта-оригинала. Заметим - не все его факторы и свой-

ства, а лишь те, которые интересуют разработчика и пользователя модели. Например, исследуя движение тел в атмосфере, конструктор самолета может выяснить, что их ускорение существенно зависит от массы, формы и шероховатости поверхности, но практически не зависит от цвета последней.

Наконец, модель позволяет научиться управлять самим объектом, апробируя различные варианты воздействия на него. Использовать в этих целях оригинал часто бывает экономически не выгодно или рискованно. Допустим, получить первые навыки в управлении тем же самолетом безопаснее, быстрее и дешевле на его тренажерной модели, чем непосредственно подвергать неоправданному риску себя и такую дорогостоящую машину.

Более того, поскольку свойства реальных сложных объектов непрерывно меняются с течением времени, то особое значение приобретает задача прогнозирования их состояния под воздействием этого и других факторов. Например, при проектировании, изготовлении и эксплуатации любого сложного технического устройства желательно уметь прогнозировать изменения надежности и безопасности его функционирования, а также определять наиболее эффективные меры по поддержанию таких свойств.

Отметим, что модели и моделирование вообще нужны для того, чтобы а) понять, как устроен конкретный объект-оригинал; каковы его структура, основные свойства, закономерности функционирования и развития; б) научиться управлять объектом и процессом его функционирования, в том числе определять наилучшие для него управляющие воздействия при заданных целях и критериях; в) прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации конкретных способов и форм воздействия на моделируемый объект.

2 Классификация моделей и методов моделирования в техносфере

Систематизация известных к настоящему времени моделей и методов их использования позволяет утверждать о правомерности классификации, изображенной на рисунке 2.

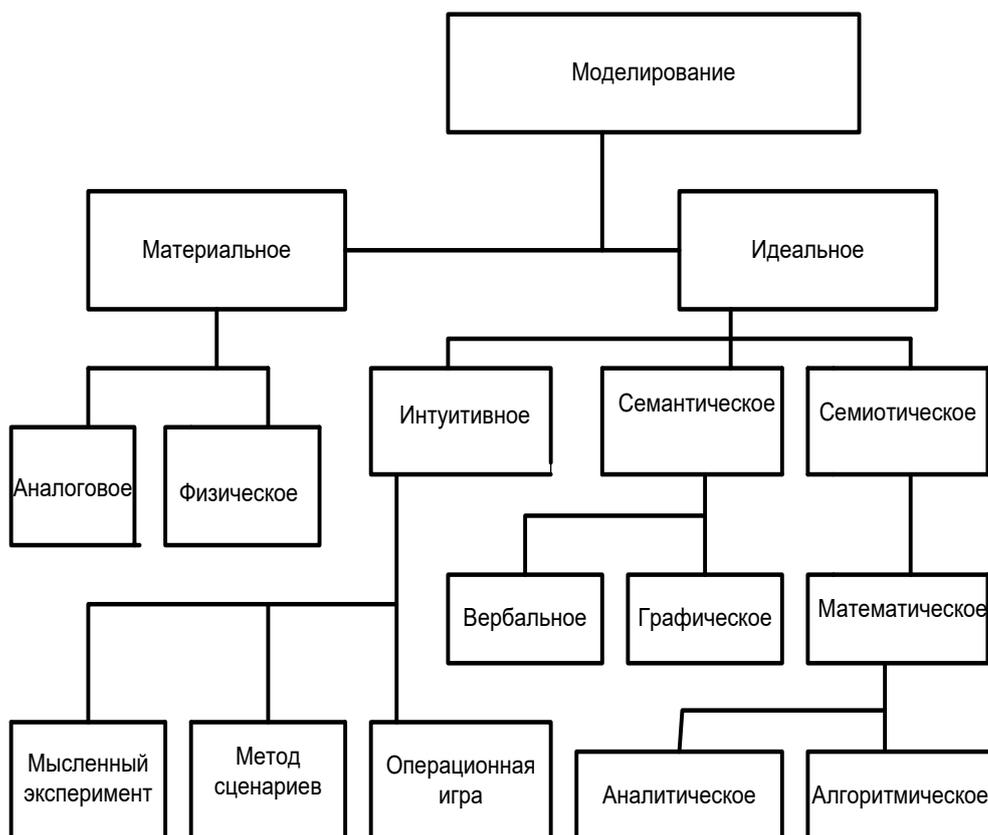


Рисунок 2 - Классификация моделей и методов моделирования в техно-сфере

В качестве оснований для деления рассматриваемых объектов приняты их природа и тип формализованного представления. Методы физического (натурного, предметного) моделирования нашли самое широкое применение в авиа-, автомобиле-, ракетно- 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. В основу же 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.

Основное удобство аналоговых моделей заключается в том, что изучение одних процессов можно проводить в других, более удобных условиях. Например, изучение тех же механических колебаний можно вести с помощью электрической схемы, а обтекание жидкости заменить обтеканием газом, и наоборот. Под интуитивным (иногда называемым также «ненаучным») 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. Основой для подобных моделей служит жизненный опыт людей, т. е. знания и умения, накопленные каждым человеком и передающиеся от поколения к поколению. Кроме того, любое эмпирическое знание, полученное людьми из эксперимента или в процессе наблюдения без объяснения причин и механизмов наблюдаемых явлений, также можно считать интуитивным и использовать при соответствующем моделировании. 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 же 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.

В семантическую группу методов входит вербальное (словесное) и графическое моделирование. При этом первый тип моделей образуется с помощью слов, из которых составляются высказывания, суждения и умозаключения относительно моделируемого объекта. А вот 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 семиотического, 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 моделирования считается математическое моделирование. Под математическим моделированием подразумевается описание объекта-оригинала, которое осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов. 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. В отличие от аналитических алгоритмические модели могут учитывать практически любое число существенных факторов, 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. Рассмотренную классификацию, не следует считать всеобъемлющей, так как в ней отсутствуют такие разновидности, например, когнитивной модели, как «содержательная», т. е. модель этого же типа, но уже словесно выраженная; «концептуальная» – являющаяся подтипом последней и использующая лишь наиболее общие понятия конкретной предметной области; «формальная» – представляющая концептуальную модель с помощью одного или нескольких математических либо алгоритмических языков; «информационная» – олицетворяющая собой компьютерную базу данных, но не обладающая предсказательной силой.

3 Обобщенная структура моделирования процессов в техносфере

Необходимость в подобной методике или обобщенной технологии создания и анализа моделей обусловлена трудоемкостью соответствующего процесса, необходимостью привлечения к нему различных специалистов. Особенно это характерно для процессов в техносфере, которые отличаются не только большим разнообразием, но и высокой сложностью, что указывает на потребность в знании не только многих наиболее общих законов, но и частных закономерностей. На рисунке 3 представлена совокупность отдельных правил и приемов моделирования, включающая как наиболее общие связи, так и этапы построения, проверки и использования моделей. Прокомментируем показанные на рисунке 3 этапы, обращая внимание на их назначение, отличительные особенности, практическую реализацию и уделяя преимущественное внимание тем аспектам, которые имеют непосредственное отношение к моделированию процессов в техносфере.

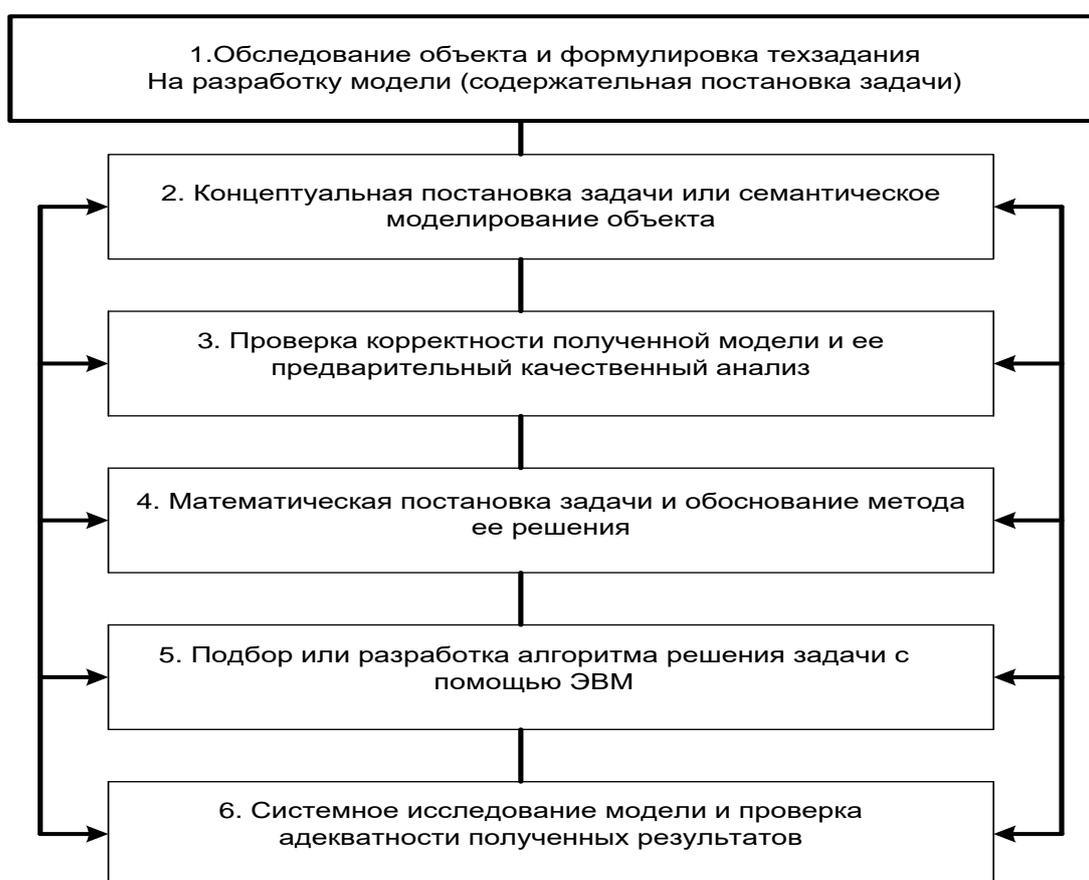


Рисунок 3 - Основные этапы процесса моделирования

Этап 1. Прежде всего, отметим, что решение о создании новой, в особенности алгоритмической или численной, модели следует принимать в случае отсутствия более простых путей решения возникшей проблемы (допустим, путем модификации уже существующих моделей). Необходимость в новых моделях возникает при проведении исследований на стыке различных отраслей, выполнении проектно-конструкторских работ на производстве и транспорте, создании там автоматизированных систем управления, планирования и контроля.

При этом в качестве заказчика обычно выступает организация, заинтересованная в новой модели и финансирующая работы по ее созданию. После принятия такого решения она осуществляет поиск наиболее подходящего исполнителя своего заказа и предоставляет ему для обследования моделируемый объект. Эту миссию и последующие этапы моделирования чаще всего исполняет рабочая группа, включающая специалистов разного профиля - конструкторов, технологов, эксплуатационников, а также прикладных математиков и экспертов по системной инженерии безопасности.

Конечной целью этапа 1 моделирования служит разработка соответствующего технического задания, для этого необходимо предварительно: а) тщательно обследовать собственно моделируемый объект или процесс с целью выявления основных его свойств, параметров и факторов; б) собрать и проверить доступные экспериментальные данные об объектах-аналогах и провести дополнительные испытания при необходимости; в) проанализировать литературные источники и сравнить между собой построенные ранее модели данного объекта или ему подобные; г) систематизировать и обобщить весь накопленный материал, разработать общий план создания и использования комплекса моделей.

Предназначением данного этапа является формирование содержательной постановщиками задачи моделирования. При этом особую значимость приобретает составление перечня вопросов, на которые должна ответить новая модель. Подготовка такого списка посильна лишь специалистам, не толь-

ко хорошо разбирающимся в предметной области, но и довольно коммуникабельным, т. е. умеющим общаться различными людьми

Подобных экспертов иногда называют постановщиками задач. Кроме упомянутого, они должны уметь выделять главное из большого числа нечетко высказанных мнений других специалистов и расплывчато сформулированных пожеланий заказчика. Лишь на основе этого главного, выделенного из всей собранной информации, постановщик может сформулировать такие требования к будущей модели, которые, с одной стороны, удовлетворят заказчика, с другой - удовлетворят ограничениям на сроки и ресурсы, выделенные для создания и реализации модели.

Из перечисленных требований видно, насколько велика ответственность постановщика задачи и насколько могут быть тяжелы ошибки и просчеты, опущенные им. Поэтому специалисты данного профиля особенно высоко ценятся, являясь «золотым фондом» исследовательских коллективов. Думается, что по своему образованию постановщик задачи моделирования рассматриваемых техносферных процессов должен быть экспертом в области системной инженерии безопасности либо математиком-прикладником.

Этап 2. Следующим (после оформления техзадания) этапом служит концептуальная постановка задачи или семантическое моделирование исследуемого объекта. В отличие от содержательной постановки этот этап выполняется рабочей группой без привлечения заказчика. В качестве же исходной информации здесь используются полученные к этому моменту сведения о моделируемом объекте и его аналогах, а также уточненные ранее требования к будущей модели.

Анализ и совместное обсуждение членами рабочей группы сделанной ранее содержательной постановки задачи и имеющихся у них когнитивных моделей позволяет синтезировать и более формализованную, концептуальную модель. Концептуальная модель – это сформулированный в терминах конкретной отрасли теории и практики перечень основных вопросов, интересующих заказчика, а также совокупность гипотез относительно свойств и поведения объекта моделирования.

Следует отметить, что наибольшие трудности при формулировке концептуальной модели приходится преодолевать для моделей, находящихся на стыке различных дисциплин. В техносфере - ее безопасности - это всегда относится к моделированию процесса, появления происшествий в человеко-машинных системах.

Этап 3. Должным образом оформленная концептуальная постановка задачи моделирования должна быть подвержена всесторонней проверке, а затем и предварительному (качественному) анализу. Цель данного этапа состоит в проверке обоснованности (смысловой состоятельности) концептуальной постановки задачи и корректности ее оформления в виде соответствующей семантической модели. Это также осуществляется членами рабочей группы, иногда с привлечением не входящих в нее экспертов (преимущественно для аудиторской помощи).

Проверке подлежат все принятые ранее гипотезы и другие исходные предположения, касающиеся поведения моделируемого объекта. Особое внимание при этом уделяется контролю состава и способов описания тех его факторов, которые приняты существенными, т. е. подлежащими учету в моделях, а также свойств и параметров объекта, исключенных из последующего рассмотрения как второстепенные. Для принятия соответствующих решений здесь используются объективно действующие законы, включая и упомянутые выше уравнения баланса, и другие определяющие соотношения.

Если в ходе предыдущего этапа концептуальная модель была оформлена в виде каких-либо наглядных рисунков или смысловых диаграмм, то и они подлежат пристальному исследованию. Его цель – проверка строгости определения и обозначения учитываемых там категорий, выявление других возможных недочетов и погрешностей. Что касается диаграммы причинно – следственных связей, то наиболее распространенными ошибками в их изображении являются ее недостающие или избыточные элементы, а также излишне произвольная трактовка учитываемых там событий и связей между ними.

Иногда на данном этапе моделирования уже могут быть получены те дополнительные сведения об объекте-оригинале, ради которых он подвергается моделированию. Особенно часто это удается сделать в результате качественного анализа смысловых диаграмм, позволяющих учесть и изобразить на бумаге или экране компьютера такое количество существенных факторов, которым невозможно мысленно манипулировать одновременно.

Особенно актуально применение подобных диаграмм при моделировании опасных процессов в техносфере. Например, среди изображенных таким образом десятков факторов, реально влияющих на аварийность и травматизм, могут быть выявлены их сочетания, включающие в себя малое число факторов, появление и отсутствие которых необходимо и достаточно соответственно для возникновения и недопущения конкретных происшествий.

Этап 4. После завершения проверки концептуальной постановки задачи и предварительного анализа соответствующей семантической модели рабочая группа приступает к построению математической модели, а затем к выбору наиболее подходящего метода ее исследования. Наиболее предпочтительной считается аналитическая постановка и такое же решение моделируемой задачи, поскольку в этом случае используется арсенал математического анализа, включая оптимизацию.

Особая ценность аналитического моделирования заключается в возможности точного решения поставленной задачи, в том числе нахождения оптимальных (наилучших в каком-то смысле) результатов. Вместе с тем область использования аналитических методов ограничена размерностью учитываемых факторов и зависит от уровня развития соответствующих разделов математики. Поэтому для создания математических моделей сложных систем и процессов (как в техносфере, например) требуются уже алгоритмические модели, которые могут давать лишь приближенные решения.

Этап 5. Для облегчения или ускорения моделирования сложных процессов, происходящих в техносфере, рабочей группе обычно требуется использовать электронно-вычислительную технику. В свою очередь, это указы-

вает на потребность в соответствующих алгоритмах и компьютерных программах. Несмотря на наличие в настоящее время богатого арсенала математических алгоритмов и прикладных программ, нередко возникает необходимость в самостоятельной разработке новых.

Специалисты, разрабатывающие надежное программное обеспечение, сталкиваются с задачей, не уступающей по сложности предыдущим этапам моделирования. Ее успешное решение возможно лишь при уверенном владении современными алгоритмическими языками и технологиями программирования, знании возможностей нынешней вычислительной математики и техники, наличии соответствующего опыта. Сам же процесс создания компьютерных программ может быть разбит на ряд таких этапов: разработка технического задания, проектирование структуры программ, кодирование алгоритмов, их тестирование и отладка.

Этап 6. Предполагается, что системное исследование включает в себя качественный и количественный этапы.

Предназначение первого – выявление общих закономерностей, связанных с функционированием моделируемого объекта. Качественный анализ модели и проверка адекватности полученных с ее помощью результатов осуществляется рабочей группой, иногда с привлечением представителей заказчика.

Цель же количественного анализа достигается решением таких двух задач: а) прогнозирование соответствующих характеристик моделируемого объекта; б) априорная оценка эффективности различных стратегий его совершенствования.

Процедура количественного анализа зависит от вида полученной математической модели. Для сравнительно простых аналитических соотношений она проводится преимущественно вручную, с использованием инструментов математического анализа и исследования операций. Тогда как анализ неподдающихся этому, т. е. довольно сложных или громоздких моделей, реализуется на электронной вычислительной технике с помощью подобранных либо специально разработанных численных и имитационных алгоритмов.

Решение упомянутых выше двух задач количественного анализа осуществляется путем проведения соответствующих расчетов при реальных или предполагаемых значениях учитываемых Параметров моделируемого объекта. В отличие от первой задачи, предполагающей проведение одного ручного или машинного счета, при оценке эффективности различных стратегий уже требуется несколько вычислительных экспериментов. При этом каждый из них отличается значениями исходных параметров модели, целенаправленное изменение которых ожидается от внедрения каких-либо мероприятий, направленных, например, на улучшение компонентов человеко-машинных систем.

Проверка же адекватности модели проводится путем установления соответствия между результатами моделирования и какими-либо другими данными, непосредственно относящимися к решаемой задаче. В качестве эталона сравнения чаще всего рекомендуется использовать эмпирические данные (натурные эксперименты, статистику) либо подобные результаты, полученные в ходе решения так называемой тестовой задачи с помощью других моделей. Подобная проверка должна доказать не только правомерность принятых при моделировании гипотез, но и удовлетворительную (оговоренную техническим заданием) точность моделирования.

Следует различать качественное и количественное согласие результатов сравнения. В первом случае достаточно лишь совпадения некоторых характерных особенностей в распределении оцененных параметров, например их знаков, тенденций изменения, наличия экстремальных точек и т.д. Если эти требования соблюдаются, то уместно оценить совпадение и на количественном уровне. При этом для моделей с оценочными функциями оно может оцениваться расхождением в 10-15 %, а для используемых в управляющих и контролирующих системах – в 1 - 2 % и ниже.

Наиболее типичными причинами неадекватности результатов моделирования обычно являются следующие:

а) значения параметров модели не соответствуют области, определяемой принятой системой гипотез;

б) выбранная совокупность гипотез верна, но константы и параметры в использованных моделью определяющих соотношениях установлены неточно;

в) вся исходная совокупность принятых гипотез не применима для изучаемого объекта или условий его функционирования. Для устранения этих и подобных причин требуется проведение дополнительных исследований, как объекта-оригинала, так и самой модели.

Если полученная модель оказывается неадекватной в интересующей заказчика области параметров, то следует уточнить значения ее констант и исходных параметров. Если же и в этом случае не удастся получить положительных результатов, то единственной возможностью улучшения модели остается изменение принятых гипотез. Данное решение фактически означает возвращение ко второму и последующим этапам разработки модели, на что указывают стрелки рисунка 3, выходящие из его нижних блоков и направленные к верхним.

При рассмотрении обобщенной процедуры моделирования, отмечают недопустимость игнорирования ее последнего этапа, поскольку это может привести к огромным издержкам. Ведь не исключено, что при решении реальной задачи с помощью не проверенной должным образом модели могут быть получены и правдоподобные результаты. Однако в других случаях модель будет давать качественно неверные результаты, но их причины разработчики станут искать уже не в модели.

Лекция 4 Основные принципы моделирования опасных процессов в техносфере

Рассматриваемы вопросы:

1 Моделирование опасных процессов с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево», «граф» и «сеть».

2 Системное прогнозирование параметров риска происшествий с помощью диаграмм типа «дерево»

1 Моделирование опасных процессов с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево», «граф» и «сеть»

Общие принципы системного анализа и моделирования сложных процессов позволяют перейти к изучению тех их особенностей, которые свойственны появлению происшествий в техносфере.

Рассмотрим моделирование опасных процессов с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево», «граф» и «сеть».

На рисунке 4 рассмотрена структура системного анализа и моделирования процессов в техносфере, основанная преимущественно на применении гибкой системной методологии прогнозирования и перераспределения техногенного риска.

Самым первым и довольно важным этапом системного исследования техносферы считается эмпирический системный анализ рассматриваемых там проблемных ситуаций с обеспечением безопасности техносферы. Он основывается на изучении требований и сборе статистических данных по аварийности и травматизму, выявлении несоответствий между желаемым и действительным состояниями исследуемых опасных процессов, определении состава существенных факторов – тех свойств человеко-машинной системы, которые наиболее часто фигурируют в анализируемых данных.

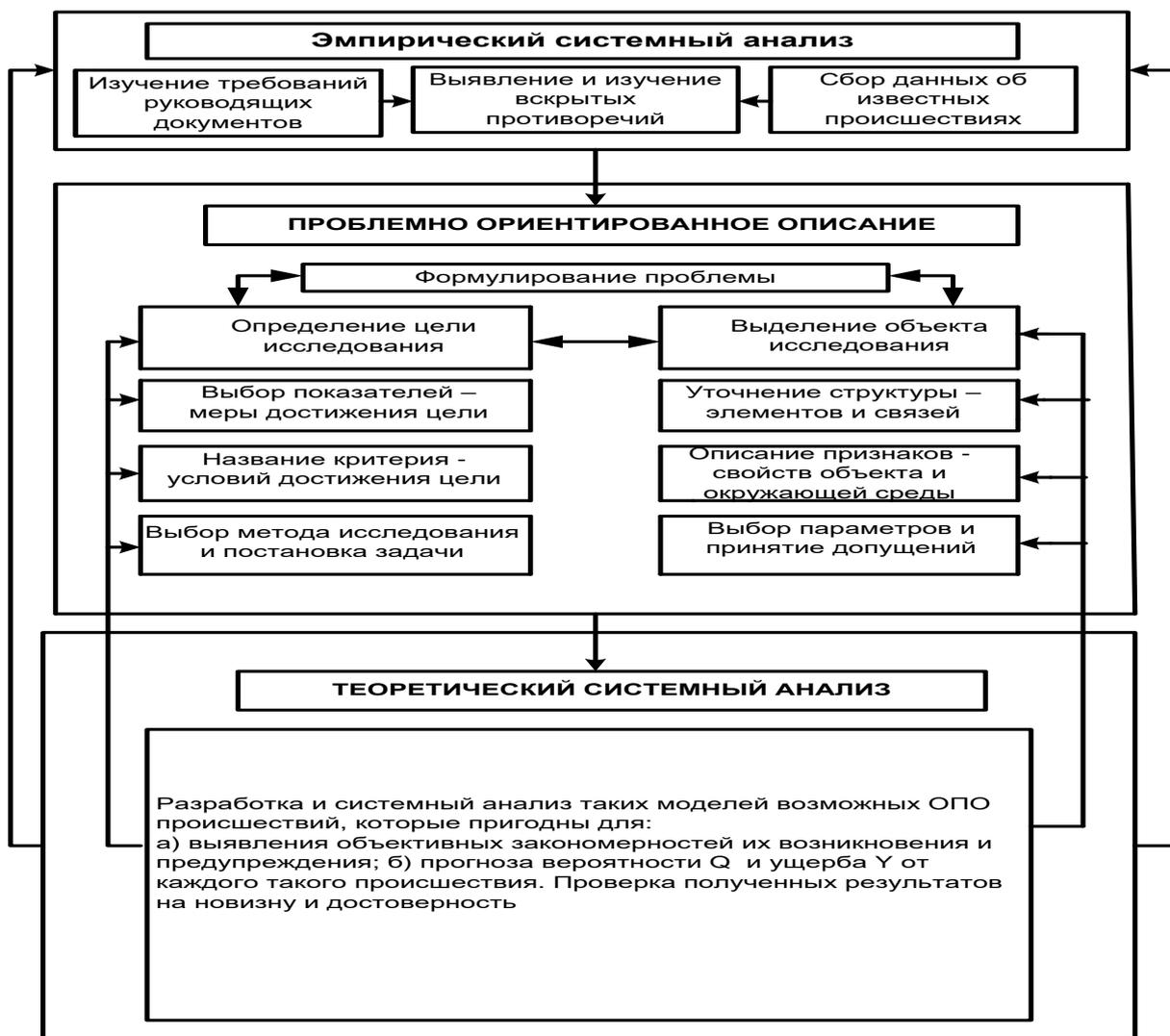


Рисунок 4 - Структура системного исследования безопасности в техносфере

В процессе осуществления рассматриваемого этапа широко используются различные способы сбора и преобразования статистических данных, направленные на повышение информативности изучаемых признаков или снижение их размерности. Наиболее предпочтительны для этого следующие: проверка статистических гипотез, регрессионные алгоритмы, дискриминантный и факторный анализы, кластер-процедуры.

Важность данного этапа состоит в его значимости для последующих рассуждений: в случае недобросовестности проведения эмпирического системного анализа возможны так называемые ошибки третьего рода - неверные выводы при ошибочных исходных предположениях. И наоборот, качественное проведение сбора и обработки статистических данных обеспечивает

адекватность отображения реальности, необходимую для дальнейшего моделирования, поскольку любые эмпирические данные - следствие объективно существующих законов природы и общества.

Следующим (после эмпирического системного анализа) этапом служит, проблемно-ориентированное описание объекта и цели моделирования - тех опасных техносферных процессов, которые могут сопровождаться появлением происшествий, а также выявление соответствующих закономерностей и оценка их параметров. Этот этап обычно включает более четкое формулирование проблемной ситуации, идентификацию связанной с ней человеко-машинной системы, уточнение характера ее взаимодействия с внешней средой, определение цели предстоящего моделирования и системного анализа, выбор соответствующих показателей и критериев.

При этом подразумевается следующее:

а) выявление сущности противоречий - породивших факторов, а также организаций или лиц, заинтересованных в их ликвидации;

б) уточнение цели моделирования - определение необходимых для этого изменений, соответствующих методов, показателей и критериев;

в) идентификация объекта - уточнение структуры, свойств и характера взаимодействия его элементов, определение учитываемых и игнорируемых факторов, а также параметров тех из них, которые наиболее существенны для появления и устранения происшествий.

Завершающий этап системного анализа и моделирования конкретных процессов в техносфере связан с проведением их теоретического системного анализа. Такое исследование должно быть направлено на уточнение представлений об условиях возникновения и предупреждения происшествий при функционировании человеко-машинных систем.

Особое место при проведении теоретического системного анализа техносферы принадлежит моделированию процессов, связанных с возникновением там происшествий. Это обусловлено прежде всего неприемлемостью по этическим и экономическим соображениям экспериментального изучения тех аспек-

тов, которые касаются жизни и здоровья людей, значительного ущерба материальным ценностям и природным ресурсам. В этих условиях только моделирование позволяет заблаговременно пополнить представления об условиях, закономерностях возникновения и предупреждения техногенных происшествий, компенсировать дефицит в соответствующих статистических данных.

Важным условием успешного завершения 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 – Q (?);
- б) величины соответствующего ущерба от них людским, материальным и природным ресурсам – Y (?).

Вся процедура системного исследования должна завершаться проверкой полученных на каждой ее итерации результатов на новизну и достоверность. Необходимость и особенности такой проверки проиллюстрированы на рисунке 4 текстом и линиями со стрелками, указывающими на сведения, нуждающиеся в дополнительном контроле. При этом также предполагается, что проведение всей процедуры системного анализа и моделирования процессов техносферы должно осуществляться непрерывно, с периодическим информированием должностных лиц системы обеспечения ее безопасности.

2 Системное прогнозирование параметров риска происшествий с помощью диаграмм типа «дерево»

Рассматриваемые здесь причинно-следственные модели получили ныне самое широкое распространение при системном исследовании производственноэкологической безопасности с целью ручного и автоматизированного прогноза показателей надежности, живучести и параметров риска отказов и происшествий в различных человекомашинных системах.

Метод анализа с использованием дерева отказов был разработан в лаборатории «Белл телефон» Х.А. Уотсоном в 1961 - 1962 гг. Деревья отказов

являются сложными логическими структурами. Для их построения и количественного анализа необходимы знания булевой алгебры, теории множеств и других разделов математики. Полезность дерева отказов заключается в следующем: – анализ сосредоточен на отыскании отказов; – выявляются важные для отказов аспекты системы; – обеспечивается графическое представление материала; – появляется возможность проведения качественного и количественного анализа надежности системы; – обеспечивается возможность сосредоточиться на конкретном отказе системы; – появляется возможность глубокого проникновения в процесс работы системы.

Фактически деревья отказов стали средством общения специалистов в области надежности.

Структура дерева отказов приведена на рисунке 5.

Нежелательное событие, являющееся предметом анализа, располагается вверху дерева отказов (конечное событие) и соединяется с другими событиями вплоть до исходных путем констатаций событий и логических символов.

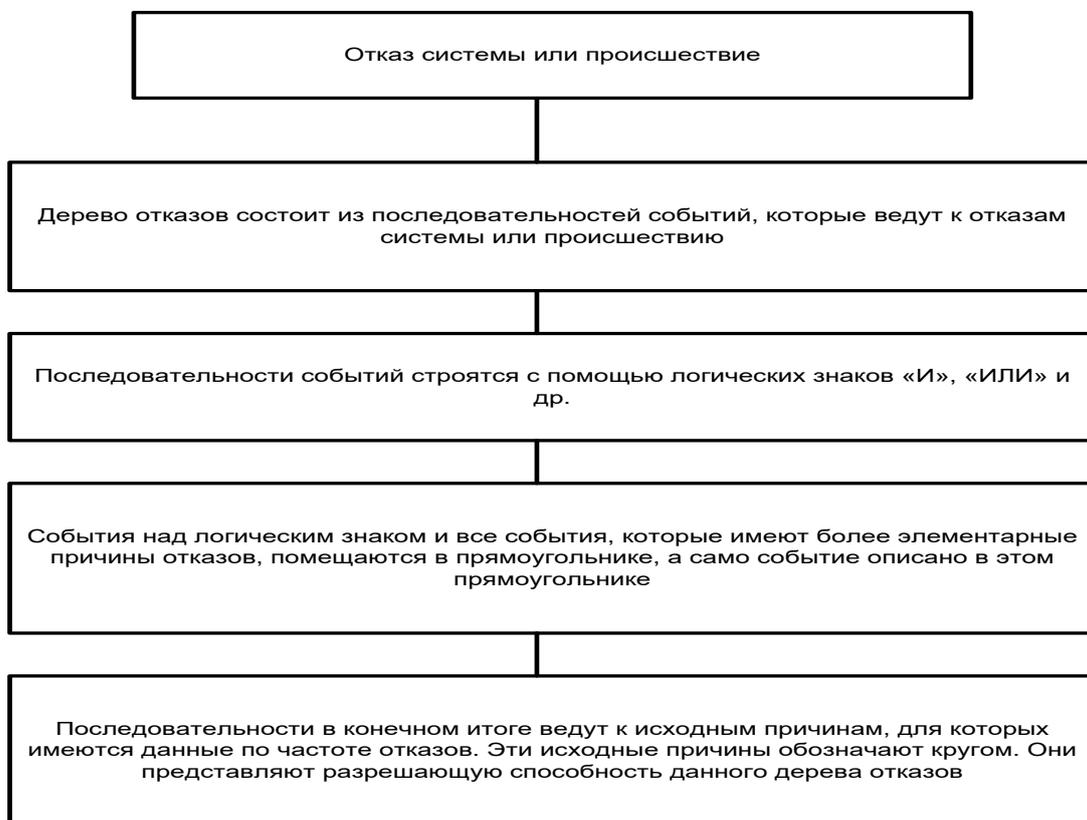


Рисунок 5 - Основная структура дерева отказов

Основное преимущество дерева отказов в сравнении с другими методами заключается в том, что анализ ограничен выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу или аварии.

Построение дерева отказов является определенным видом искусства в науке. Вряд ли найдутся два специалиста, которые создадут два идентичных дерева отказов. Эти деревья, естественно, должны быть эквивалентны в смысле выявления отказов. В этом смысле ответ на вопрос о пригодности для оценок надежности систем правил и процедур дерева отказов (если это искусство) является открытым. Однако многолетняя практика успешного применения деревьев отказов для установления причинных взаимосвязей в системах позволяет говорить об их несомненной полезности.

Причинные взаимосвязи в системе можно установить с использованием дерева отказов. Построив дерево отказов, его необходимо подвергнуть качественному и количественному анализу для выявления сочетаний исходных аварийных событий, ведущих к возникновению опасных ситуаций в системе. После того, как эти сочетания выявлены, система может быть модернизирована и потенциальные опасности уменьшены.

Для отыскания и наглядного представления причинной взаимосвязи с использованием дерева отказов необходимы блоки, подразделяющие и связывающие события. Существует два типа блоков: логические символы и символы событий.

Логические символы связывают события в соответствии с причинными взаимосвязями. Основные логические символы приведены на рисунке 6. В нижней части логического знака располагаются входные события, в верхней - выходное событие. Входных событий может быть два или более, выходное - одно.

Выходное событие логического знака «И» наступает в том случае, когда все входные события появляются одновременно. Выходное событие у логического знака «ИЛИ» наступает, когда имеет место любое из входных событий.

Причинные связи, определяемые логическими связями «И» и «ИЛИ»

являются детерминированными в том смысле, что появление выходного события полностью определяется входными. Для представления вероятностных причинных связей используется логический знак «Запрет». Наличие входа вызывает появление выхода тогда, когда происходит условное событие.

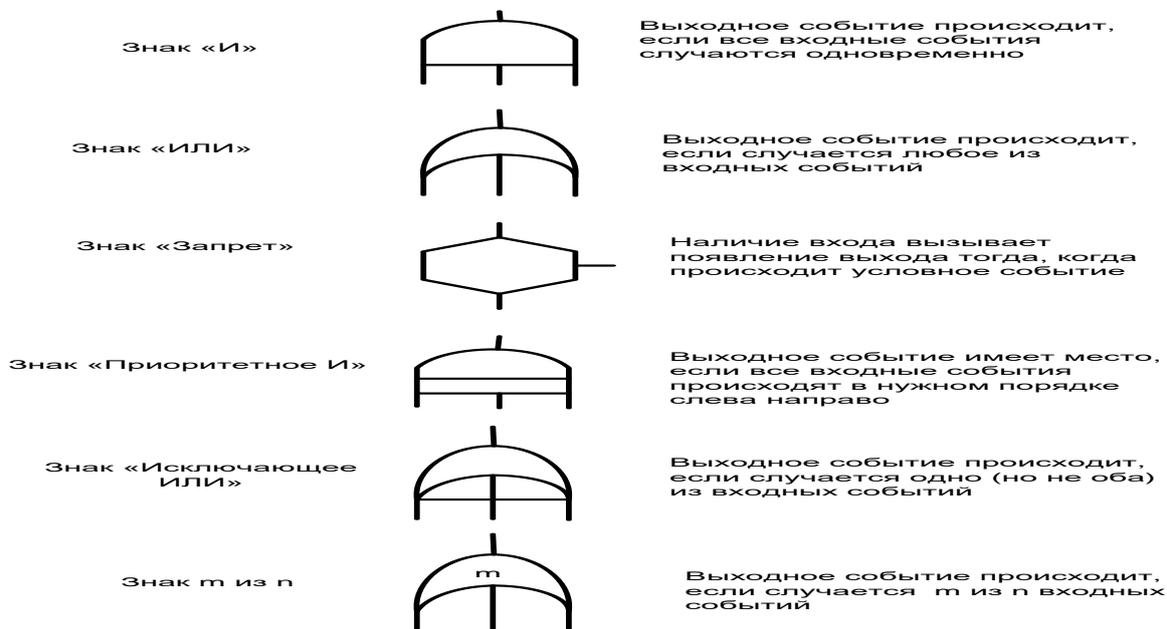


Рисунок 6 – Логические символы возникновения пожара необходимо условное событие – наличие источника воспламенения.

Примеры использования логических знаков «И» и «ИЛИ» приведены на рисунке 7. Символы событий приведены на рисунке 8. Круг обозначает

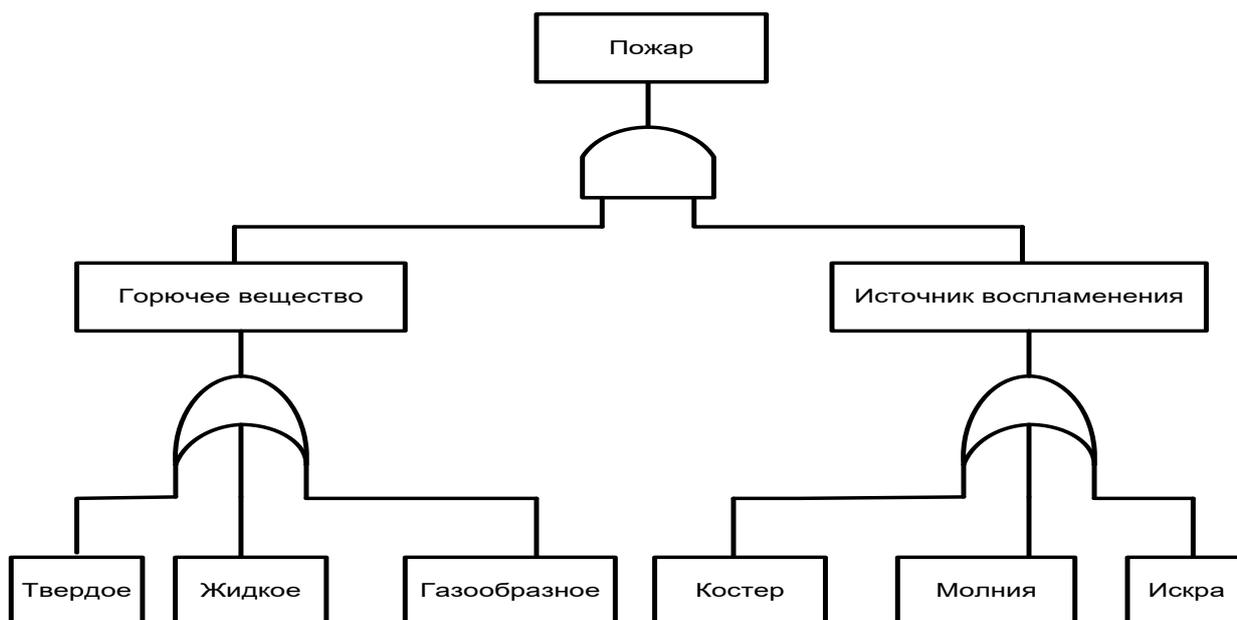


Рисунок 7 – Пример использования логических знаков

исходное событие, обеспеченное достаточными данными, т.е. по которому есть данные по вероятности отказов. Ромб – событие недостаточно детально разработанное, т.е. не обеспеченное данными по вероятности отказов. Прямоугольник – событие, которое вводится логическим элементом, т.е. описываемое в этом прямоугольнике. Овал - условное событие, используемое с логическим знаком «Запрет». Для описания события, которое может случиться или не случиться, используется символ «Домик». Для упрощения изображения дерева отказов используются символы «Треугольники».

Нахождение аварийного события. Для анализа причинных связей в системе имеется два подхода: прямой анализ и анализ с обратным порядком.

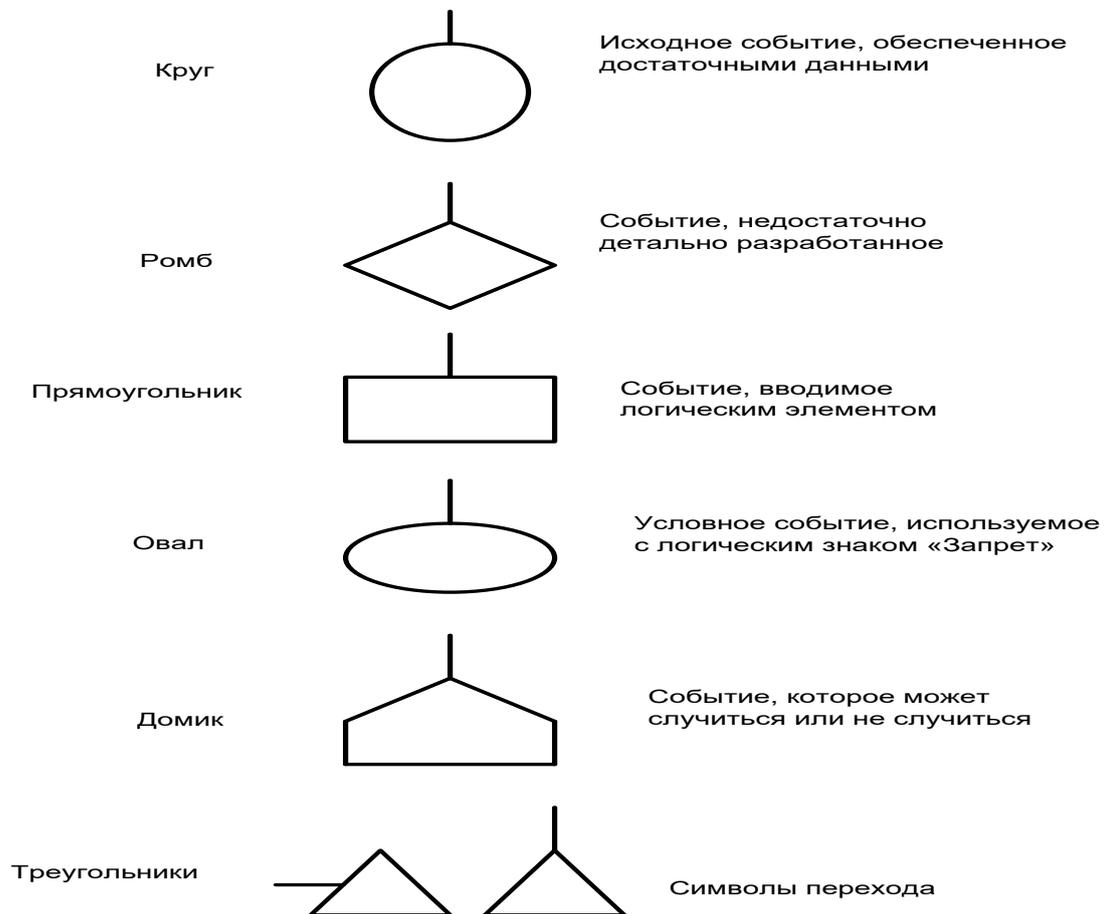


Рисунок 8 – Символы событий

Анализ с прямым порядком начинается с определения перечня отказов и развивается в прямом направлении с определением последствий этих событий.

При этом используется прямая (индуктивная) логика: Что случится, если откажет насос? Анализ с обратным порядком начинается с отыскания опасного состояния системы. От этого состояния в обратном направлении отыскиваются возможные причины появления этого состояния. При этом используется обратная (дедуктивная) логика: «Каким образом может отказать система?». Характерным примером использования прямого подхода является построение дерева событий. Обратного – дерева отказов. При выполнении анализа в прямом порядке принимается набор последовательностей событий и составляются соответствующие им сценарии, оканчивающиеся опасными состояниями. Для составления сценария необходимы данные по взаимосвязи элементов и топографии системы, а также данные по отказам элементов. Эти же данные необходимы и для построения дерева отказов.

Взаимосвязи элементов и топография системы. Система включает элементы оборудования, персонал, находящиеся в окружающей и социальной среде, и подвергаются старению. Старение, окружающая среда и персонал могут влиять на систему только посредством влияния на элементы. Каждый элемент в системе связан с другими. Эти связи специфичны и могут по-разному проявляться в различных системах. При проведении анализа надежности системы необходимо уточнить взаимосвязи и топографию системы.

Характеристики отказов элементов. При анализе причинных связей основными данными являются данные по отказам. Отказы классифицируются на первичные, вторичные и ошибочные команды.

Первичный отказ элемента определяют, как его нерабочее состояние, причиной которого является сам элемент. Эти отказы происходят при входных воздействиях, находящихся в номинальном диапазоне. Причина этих отказов – естественное старение.

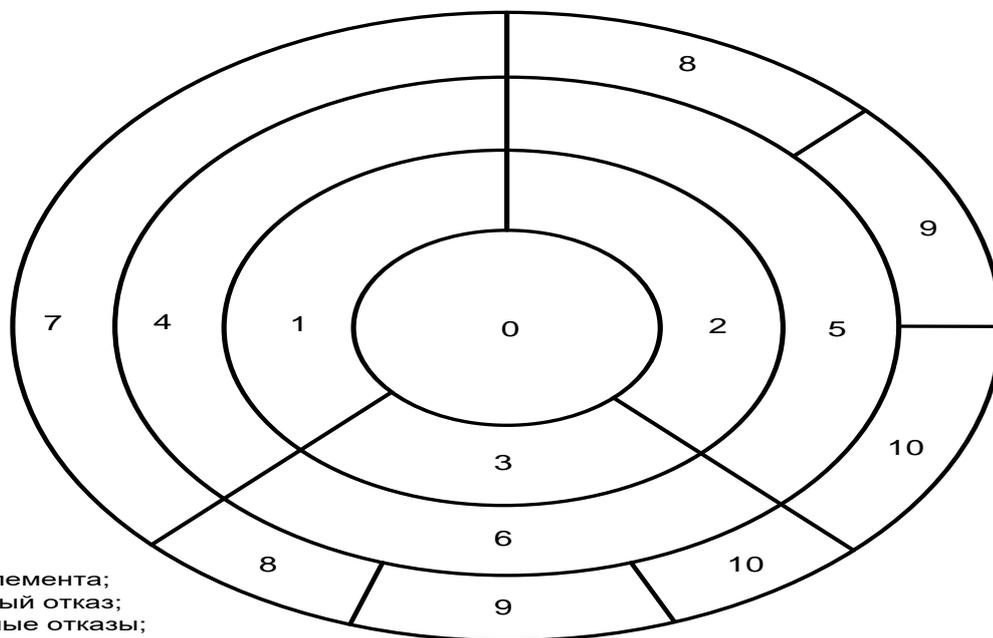
Для вторичного отказа сам элемент не является причиной отказа. Их причина – предыдущие или текущие избыточные нагрузки на элементы. Эти нагрузки могут быть вызваны соседними элементами, окружающей средой или персоналом. Примером такого рода отказов может быть «выход из строя

устройства из-за повышенного напряжения в сети». Как правило, вторичные отказы не обеспечены данными по частоте (вероятности) отказов. Если же вид первичного или вторичного отказа определен и данные по нему известны, их рассматривают как исходные, которые в дереве отказов помещают в круг.

Ошибочные команды представляются в виде элемента, который находится в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала управления или помехи при этом, в отличие от двух предыдущих видов отказов, может не требоваться ремонт для возвращения в исходное состояние. Пример ошибочной команды «оператор не включил сигнал оповещения».

На рисунке 9 приведены характеристики отказов элементов. Он включает «Отказ элемента», виды отказов, их характеристику и причины. Эвристические правила для построения дерева отказов. Алгоритм разработки отказа элемента приведен на рисунке 10. При построении дерева отказов применяют семь основных правил, в соответствии с которыми необходимо: – заменять абстрактные события менее абстрактными; разделять события на более элементарные события; точно определять причины событий; – связывать иницирующие события с событием типа «отсутствие защитных действий»; – отыскивать совместно действующие причины событий; точно указывать место отказа элемента; детально разрабатывать отказы элементов в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 10. Построение дерева отказов для сложных систем требует значительных затрат средств и времени. К тому же при построении неизбежны ошибки человека. Были разработаны различные методы, позволяющие упростить процесс построения дерева отказов, например, метод построения дерева отказов при помощи таблиц решений. При этом может использоваться компьютерная программа, что позволяет сравнительно быстро построить дерево отказов. Пример построения дерева отказов Рассмотрим пример построения дерева отказов для конечного события «отказ запуска электродвигателя» в системе рисунке 5.11, где 1 – генератор, 2 – выключатель, 3 – электродвигатель, 4 – кабель, 5 – предохранитель. Ошибочные команды вызываются самопроизвольными управляющими сигналами

или помехами. В нашем случае это «отсутствие напряжения на электродвигателе».



- 0 – отказ элемента;
- 1 - первичный отказ;
- 2 – вторичные отказы;
- 3 – ошибочные команды;
- 4 – элементы в заданных режимах работы;
- 5 – избыточные напряжения;
- 6 – ошибочные команды;
- 7 – естественное старение;
- 8 – соседние элементы;
- 9 – окружающая среда;
- 10 – персонал предприятия.

Рисунок 9 – Характеристика отказов элементов

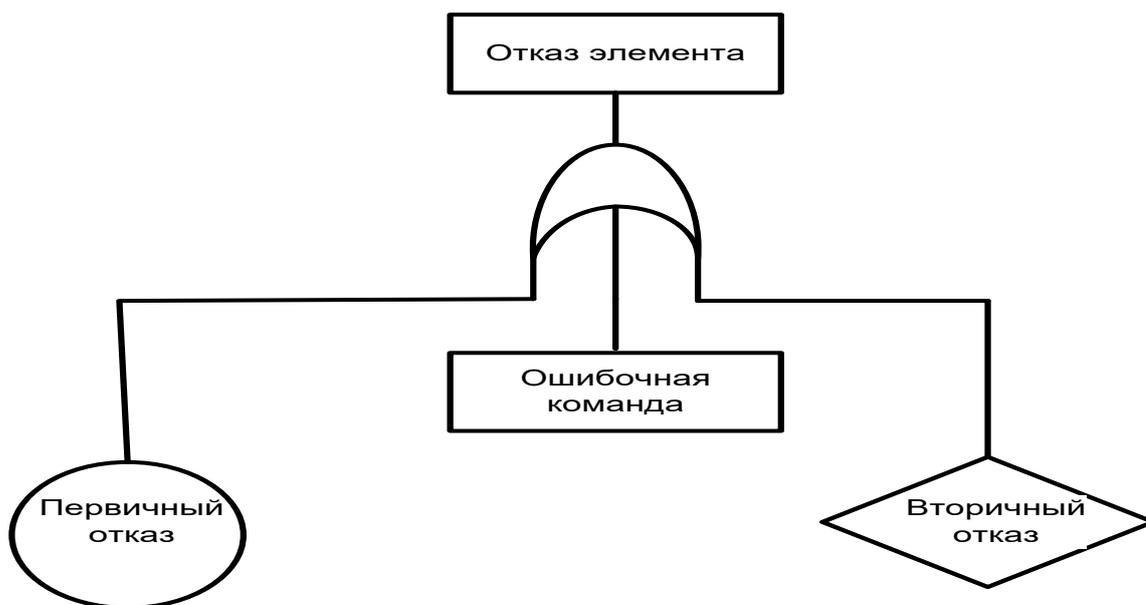


Рисунок 10 – Разработка отказа элемента

Дерево отказов для данной системы приведено на рисунке 12. Причины, приведшие к вторичному отказу, могли произойти в любое время до рассматриваемого момента t . Но процесс не рассматривается во времени, т.е. первичный или вторичный отказы в момент t являются конечными событиями, а детальный анализ не проводится. Иными словами, дерево отказов есть «мгновенный» снимок системы в момент времени t . Первичное событие заключено в круге, поскольку является исходным событием, для которого есть данные по отказам. Вторичное событие не является полностью разработанным, поэтому помещается в ромб (см. рисунок 12).

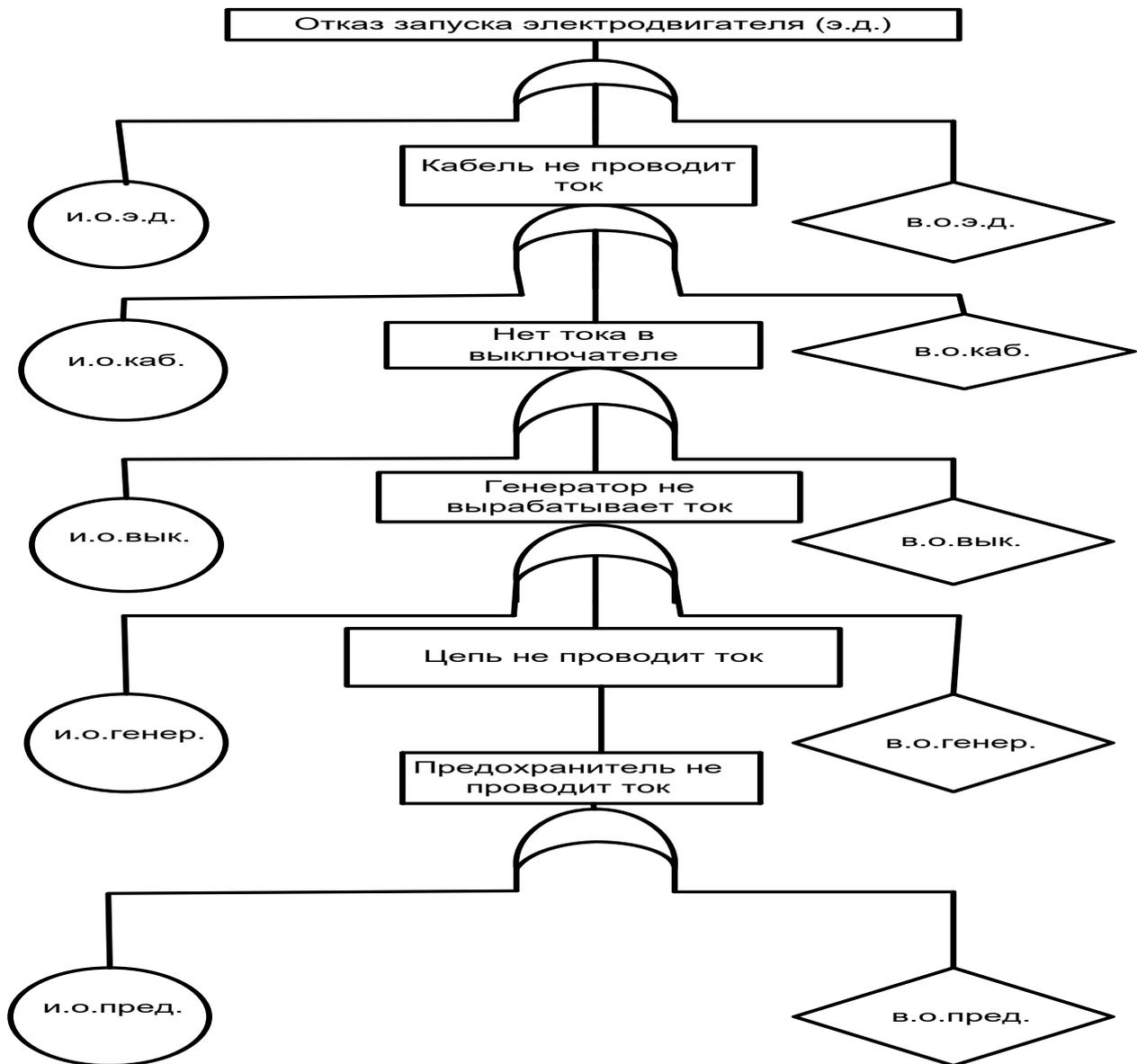


Рисунок 12 – Упрощенное дерево отказов для системы

Количественные характеристики вторичных отказов необходимо оценить соответствующими методами, а после чего они становятся исходными событиями. Ошибочная команда «нет напряжения на электродвигателе» возникает при отказе соседних элементов. В дереве отказов представлена детальная проработка этого события. В итоге приходим к событию «предохранитель не проводит ток». Это событие может происходить из-за первичного отказа предохранителя или его вторичного отказа. Можно ввести соответствующую ошибочную команду, однако, все элементы цепи рассмотрены ранее, и не было обнаружено отказов, вызывающих это событие. Следовательно, можно не учитывать данную ошибочную команду, т.е. дерево отказов построено полностью. Дерево событий. Дерево событий используется для определения последовательности событий при аварии, при этом применяется прямая, т.е. индуктивная логика: «Что случится, если...».

Список использованной литературы:

1. Белов, П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. / П. Г. Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 512 с.
2. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие. / В. В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. - 280 с.

Учебное издание

Татьяна Ивановна Белова
Евгений Михайлович Агашков

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОСФЕРЕ»

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 18.06.2018. Формат 60x84 1/16.
Бумага печатная. Усл. п. л. 5,58. Тираж 100 экз. Изд. № 6116.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ