

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологический институт

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

Панова Т.В., Панов М.В.

Анализ и расчет надёжности технической системы и техногенного риска

Учебное пособие для выполнения курсовой работы
бакалаврами, обучающимися по направлению
подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Брянская область,
2020

УДК 331.45 (076)

ББК 68.9

П 16

Панова, Т. В. Анализ и расчет надёжности технической системы и техногенного риска: учебное пособие для выполнения курсовой работы бакалаврами, обучающимися по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / Т.В. Панова, М. В. Панов. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. - 75 с.

Учебное пособие для выполнения курсовой работы бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Рецензент:

д.т.н., профессор,
профессор кафедры автоматике,
физики и математики

В.А. Погоньшев

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического института Брянского ГАУ, от 30 октября 2020 г. протокол №3.

© Брянский ГАУ, 2020

© Панова Т.В., 2020

© Панов М.В., 2020

Содержание

1 Структура курсовой работы	4
2 Примеры расчета надежности и анализа рисков систем	6
2.1 Расчет надежности и анализ риска системы вентиляции	6
2.2 Расчет надежности и анализ риска пылеобразующих машин	14
2.3 Расчет надежности и анализ риска сварочного цеха	20
2.4 Расчет надежности и анализ риска окрасочной линии	26
2.5 Расчет надежности и анализ риска системы газоснабжения	37
2.6 Анализ риска от усорезной пилы	49
2.7 Анализ риска от вальцов	57
3 Задание к курсовой работе	68
Список литературы	70
Приложение	71
Приложение А. Титульный лист	72
Приложение Б. Листы для оформления пояснительной записки	73
Листы для оформления графического материала	

1 Структура курсовой работы

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графического (иллюстративного) материала.

Пояснительная записка включает описание анализируемой технической системы, расчёт надёжности технической системы и расчёт риска технической системы.

Пояснительная записка оформляется в соответствии с ГОСТ Р 2.105-2019 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам.

Список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

Графический материал включает чертёж технической системы, дерево отказов и рисков.

К работе прикладываются:

1. Рецензия на курсовую работу.
2. Электронная версия для размещения в ЭИОС.
3. Рукописная версия в мягком переплете.

Графическая часть содержит графические материалы по курсовой работе, выполняется на листе формата А4 в программе Компас-3D.

К защите допускаются только курсовые работы, оформленные в строгом соответствии с изложенными выше требованиями. За содержание и оформление курсовой работы, принятые в ней решения, правильность всех данных и сделанные выводы отвечает студент - автор курсовой работы.

Подведение итогов подготовки курсовой работы включает следующие этапы:

- сдачу курсовой работы на проверку преподавателю;

- доработку курсовой работы с учетом замечаний преподавателя;
- сдачу готовой курсовой работы на защиту;
- защиту курсовой работы.

Срок сдачи готовой курсовой работы определяется учебным графиком.

Срок доработки курсовой работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Выполненная курсовая работа подписывается студентом и представляется на защиту.

Курсовая работа оценивается по пятибалльной шкале. Оценка записывается в ведомость группы, в журнал учебных занятий группы, а положительная оценка ставится в зачетную книжку и удостоверяется подписью преподавателя.

Изучение дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» формируется следующими компетенциями:

ОК-11 выявления ее возможностей и ресурсов, способностью к принятию нестандартных решений и разрешению проблемных ситуаций;

ПК-3 способностью оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники;

ПК-4 способностью использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности.

2 Расчет надежности и анализ риска систем

2.1 Расчет надежности и анализ риска системы вентиляции

Одной из важнейших производственных проблем является повышение надежности и долговечности технологического оборудования. Чем выше производительность и степень удобства оборудования, тем важнее обеспечить его безотказную работу в течение длительного промежутка времени.

Создание машин, приборов и оборудования, отвечающих современным требованиям производительности, точности, надежности и долговечности, сопровождается их непрерывным конструктивным усложнением, что часто приводит к обратному результату – снижению надежности этих устройств.

Противоречие имеется и в экономических вопросах, где, как показывает практика, повышение надежности и долговечности машин приводит к увеличению их стоимости, в то время как одна из существенных экономических задач заключается в снижении себестоимости выпускаемой продукции.

Обеспечение снижения себестоимости машин и оборудования – проблема всех отраслей промышленности. Однако практика показывает, что необоснованное снижение себестоимости отрицательно влияет на качество изделий и наносит ущерб промышленности.

Оптимизация расхода энергии в вентиляционных установках достигается различными путями:

- 1) применением вентиляторов с наиболее высоким КПД и возможностью выбора оптимальных режимов работы;
- 2) определением оптимальных, целесообразных экономических сроков службы станков;
- 3) правильным проектированием вентиляционной сети.

Как известно, надежность объекта определяется в основном четырьмя свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Одним из главных требований к вентиляционной системе и всему оборудованию является долговечность. Долговечность системы определяется долговечностью устанавливаемого в ней оборудования (она указывается в технической документации).

Некоторые элементы систем вентиляции подвержены внезапным отказам ввиду простоты своей конструкции и невысокой технологичности изделий.

Основными отказами в вентиляционной системе являются отказы электродвигателя, вентилятора.

Приточная вентиляция представляет собой сложную техническую систему, которую необходимо оценить с точки зрения надежности. Система приточной вентиляции содержит:

а) вентиляционную камеру, в которой имеется заборное устройство, закрытое сеткой или жалюзи во избежание попадания животных и листвы;

в) калорифер, представляющий собой теплообменник, по алюминиевым трубкам которого протекает вода, нагретая до температуры 70–100 градусов, тепло передается в воздух. Калорифер соединяется с вентилятором эластичной муфтой;

г) вентилятор, содержащий корпус, рабочее колесо с лопатками для подачи воздуха в воздуховод и электродвигатель, соединенный с вентилятором муфтой. Для данной вентиляционной системы выбран центробежный вентилятор типа ВЦ 14 – 46 – 2.5, исполнение 1;

д) систему управления, в составе которой имеются: вводной автомат, магнитный пускатель, тепловое реле, кнопки управления и пожарное реле;

б) шибер, защищающий калорифер от замораживания.

Система вентиляции имеет возможность автоматического отключения при помощи пожарного реле в случае возникновения пожара. На пожарное реле подается команда от датчиков пожарной сигнализации, и реле размыкает контакты вводного автомата.

Слабым звеном в системе вентиляции является магнитный пускатель.

Вероятность отказа работы системы вентиляции определяется в течение $t = 10\ 000$ ч в связи с тем, что период эксплуатации технологической установки составляет $10\ 000$ ч, после чего установку останавливают на капитальный ремонт.

Решение:

Согласно технической документации, наработка на отказ вентилятора ВЦ 14 – 46 – 2.5 составляет $T = 20\ 000$ ч.

Вероятность безотказной работы в период нормальной эксплуатации рассчитывается по формуле

$$P(t) = e^{-\lambda t};$$

вероятность отказа $Q(t) = 1 - P(t)$.

В первую очередь оценивается, как зависит работоспособность системы от состояния элементов. Принимается, что система работоспособна, если исправны все ее элементы. Система отказала, если произошел хотя бы один отказ.

Перечень отказов системы вентиляции:

- 1) короткое замыкание на корпус;
- 2) отказ подшипника электродвигателя;
- 3) нарушение изоляции статора;
- 4) нарушение изоляции якоря;
- 5) отказ вводного автомата;
- 6) отказ магнитного пускателя;
- 7) отказ теплового реле;
- 8) отказ пожарного реле;
- 9) повреждение кабеля;
- 10) отказ кнопки управления;
- 11) отказ сигнальной лампы;

12) отказ муфты;

13) отказ вентилятора.

Определяется вероятность безотказной работы системы вентиляции при $t = 10\ 000$ ч. В таблице 2.1 приведены значения интенсивностей отказов.

Таблица 2.1 - Интенсивность отказов элементов системы вентиляции

Позиция	Наименование отказа	Интенсивность отказов $\lambda, \text{ч}^{-1}$
1	Короткое замыкание на корпус	$0,38 \cdot 10^{-6}$
2	Отказ подшипника электродвигателя	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Нарушение изоляции статора	$1,5 \cdot 10^{-6}$
4	Нарушение изоляции якоря	$2,2 \cdot 10^{-6}$
5	Отказ вводного автомата	$1,1 \cdot 10^{-6}$
6	Отказ магнитного пускателя	$3,8 \cdot 10^{-6}$
7	Отказ теплового реле	$1,6 \cdot 10^{-6}$
8	Отказ пожарного реле	$1,6 \cdot 10^{-6}$
9	Повреждение кабеля	$1,0 \cdot 10^{-6}$
10	Отказ кнопки управления	$2,8 \cdot 10^{-6}$
11	Отказ сигнальной лампы	$4,0 \cdot 10^{-6}$
12	Отказ муфты вентилятора	$2,5 \cdot 10^{-6}$
13	Отказ вентилятора	$2,28 \cdot 10^{-7}$

Определяется вероятность безотказной работы элементов системы вентиляции для периода работы $t = 10000$ ч:

1) нет короткого замыкания на корпус: $P(t) = e^{-\lambda t}$, $\lambda = 0,38 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$,

$$P(1) = e^{-0,0038} = 0,996;$$

2) нет отказа подшипника: $\lambda = 5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(2) = e^{-0,05} = 0,95;$

- 3) нет нарушения изоляции статора: $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(3) = e^{-0,015} = 0,985$;
- 4) нет нарушения изоляции якоря: $\lambda = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(4) = e^{-0,022} = 0,978$;
- 5) нет отказа вводного автомата: $\lambda = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(5) = e^{-0,11} = 0,989$;
- 6) нет отказа магнитного пускателя: $\lambda = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(6) = e^{-0,038} = 0,963$;
- 7) нет отказа теплового реле: $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(7) = e^{-0,16} = 0,984$;
- 8) нет отказа пожарного реле: $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(8) = e^{-0,016} = 0,984$;
- 9) нет повреждения кабеля: $\lambda = 1 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(9) = e^{-0,01} = 0,99$;
- 10) нет отказа кнопки управления: $\lambda = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(10) = e^{-0,028} = 0,972$;
- 11) нет отказа сигнальной лампы: $\lambda = 4 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(11) = e^{-0,04} = 0,96$;
- 12) нет отказа муфты вентилятора: $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(12) = e^{-0,025} = 0,975$;
- 13) нет выхода из строя вентилятора: $\lambda = 2,28 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $P(13) = e^{-0,00228} = 0,977$.

Для определения причин возникновения отказов или сбоев в работе производственного оборудования применяется метод «дерева неисправностей». Метод заключается в построении и анализе модели надежности, представляющей собой логико-вероятностную модель причинно-следственных связей отказов изделия с отказами его элементов и другими событиями. «Дерево неисправностей» вентиляции представлено на рисунке 2.1.

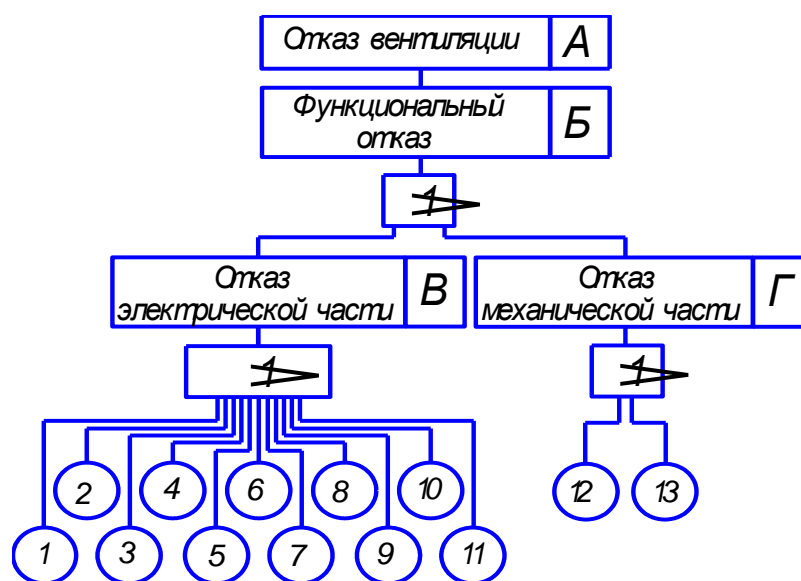


Рисунок 2.1 - «Дерево неисправностей» вентиляционной системы

1. Определяется вероятность отказа электрической части (событие B):

$$Q(B) = 1 - P(1) \cdot P(2) \cdot P(3) \cdot P(4) \cdot P(5) \cdot P(6) \cdot P(7) \cdot P(8) \cdot P(9) \cdot P(10) \cdot P(11);$$

$$Q(B) = 1 - 0,996 \cdot 0,95 \cdot 0,985 \cdot 0,978 \cdot 0,989 \cdot 0,963 \cdot 0,984 \cdot 0,984 \cdot 0,99 \times \\ \times 0,972 \cdot 0,96 = 0,245;$$

$$P(B) = 1 - Q(B) = 1 - 0,245 = 0,755.$$

2. Определяется вероятность отказа механической части (событие Γ):

$$Q(\Gamma) = 1 - P(12) \cdot P(13);$$

$$Q(\Gamma) = 1 - 0,975 \cdot 0,977 = 0,046;$$

$$P(\Gamma) = 1 - Q(\Gamma) = 1 - 0,046 = 0,954.$$

3. Определяется вероятность функционального отказа (событие B):

$$Q(B) = 1 - P(\Gamma) \cdot P(B); \quad Q(B) = 1 - P(\Gamma) \cdot P(B);$$

$$Q(B) = 1 - 0,954 \cdot 0,755 = 0,279.$$

4. Определяется вероятность отказа системы вентиляции (событие A):

Так как в данной системе отсутствуют параметрические отказы, то вероятность выхода из строя системы вентиляции определяется только функциональным отказом, следовательно,

$$Q(A) = Q(B) = 0,279.$$

Полученные данные сведены в таблицу 2.2.

Профессиональная деятельность по риску гибели человека делится на четыре категории безопасности в пределах от безопасной при $R < 10^{-4}$ до особо опасной при $R > 10^{-2}$.

Показатели для расчета взяты из статистики предприятия и представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.2 - Значения вероятностей отказа и безотказной работы

Событие		Вероятность отказа Q	Вероятность безотказной работы P	Причина
обозначение на рисунке 2.9	наименование			
1	Короткое замыкание на корпус	–	0,68	Износ изоляции
2	Отказ подшипников	–	0,71	Отсутствие смазки
3	Нарушение изоляции статора	–	0,86	Попадание пыли
4	Нарушение изоляции якоря	–	0,8	Попадание пыли
5	Отказ вводного автомата	–	0,89	Окисление контактов
6	Отказ магнитного пускателя	–	0,68	Пробой катушки
7	Отказ теплового реле	–	0,85	Залипание контактов
8	Отказ пожарного реле	–	0,85	Залипание контактов
9	Повреждение кабеля	–	0,9	Обрыв
10	Отказ кнопки управления	–	0,75	Западание кнопки
11	Отказ сигнальной лампы	–	0,96	Перегорание ламп
12	Отказ муфты	0,06	0,94	Срез шпонки
13	Отказ вентилятора	0,21	0,79	Износ лопастей
Г	Выход из строя механической части	0,046	0,954	–
В	Отказ электрической части	0,245	0,755	–
Б	Функциональный отказ	0,279	0,721	–
А	Отказ системы вентиляции	0,0001	0,9999	–

Таблица 2.3 - Вероятность событий, приводящих к причинению ущерба здоровью аппаратчика

№ п/п	Событие	Вероятность $P(t)$
1	Падение работника с высоты	$5 \cdot 10^{-5}$
2	Наезд на работника автопогрузчика	$2,3 \cdot 10^{-5}$
3	Придавливание работника грузом	$3,4 \cdot 10^{-4}$

$$P_{m\bar{o}} = (P_1 + P_2 + P_3) - P_1 P_2 - P_2 P_3 - P_3 P_1 + P_1 P_2 P_3;$$

$$P_{m\bar{o}} = (5 \cdot 10^{-5} + 2,3 \cdot 10^{-5} + 3,4 \cdot 10^{-4}) - 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} - 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 3,4 \cdot 10^{-4} - 3,4 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 3,4 \cdot 10^{-4} = 8,2 \cdot 10^{-4};$$

$$P_{m\bar{o}} = R;$$

$$R = 8,2 \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом, риск причинения ущерба здоровью: $R = 8,2 \cdot 10^{-4}$.

«Дерево рисков» показано на рисунке 2.2.

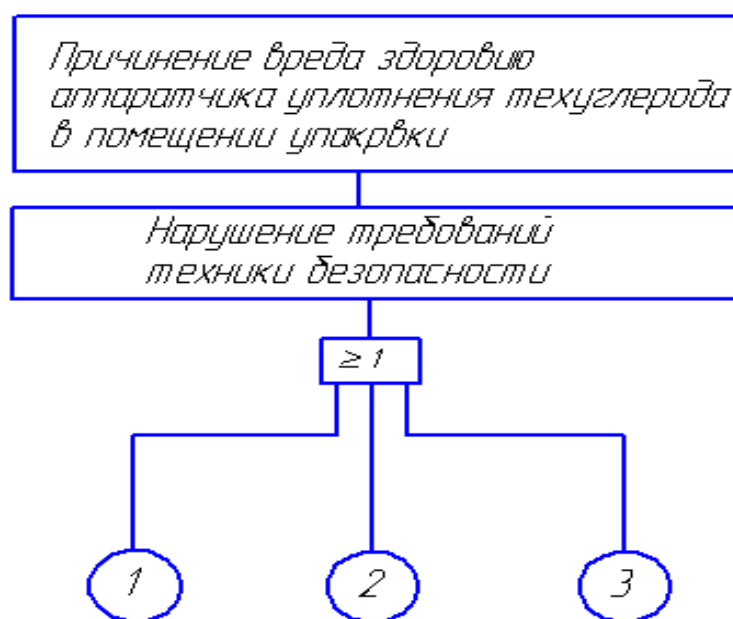


Рисунок 2.2 - «Дерево рисков» причинения ущерба здоровью

Профессиональная деятельность аппаратчика уплотнения технического углерода относится ко второй категории безопасности как относительно безопасная работа с $R = 10^{-4} - 10^{-3}$.

2.2 Расчет надежности и анализ риска пылеобразующих машин

При оценке надежности технических систем наиболее целесообразно считать самую опасную. В проектируемом комплексе наибольшую опасность представляет собой местная вентиляция с системой аспирации, удаляющая запыленный воздух из рабочей зоны пылеобразующих машин. Это объясняется тем, что при определенных условиях присутствие пыли в воздухе может привести к взрыву. Надежность системы аспирации рассчитывается на основании приведенных далее начальных условий.

Анализ безотказности системы. При анализе сложной технической системы применяется метод «дерево неисправностей» – *организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих нежелательное событие, называемое «вершиной событий»*. При построении «дерева» используется определенная символика. Состояния элементов или, в более общем смысле, исходные события (которые не могут быть подразделены) представляются окружностями, а последствия – прямоугольниками. Событие наибольшей важности (вершинное событие) представляется в виде прямоугольника, размещаемого на вершине «дерева». Таковым может быть событие, заключающееся в полной неисправности системы или её отказе. Аналогичные события для подсистем также будут обозначаться прямоугольниками.

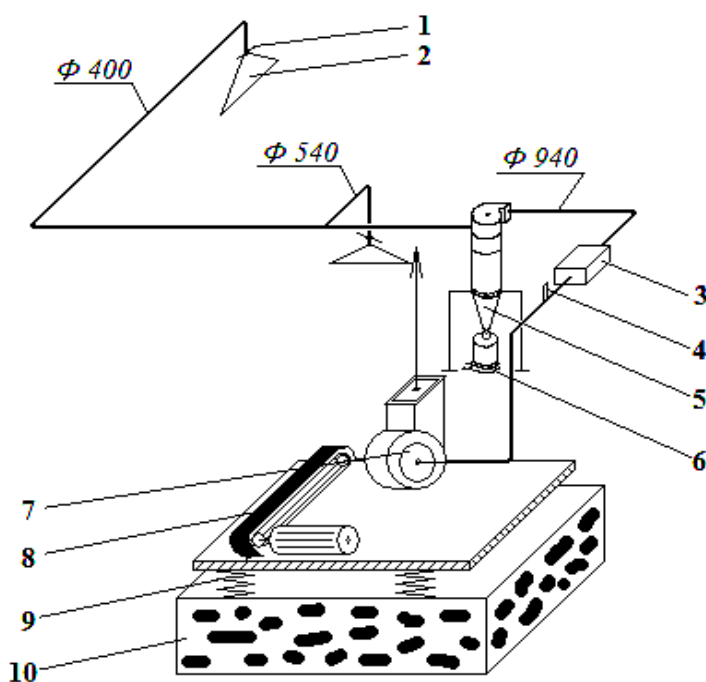
Определяется вероятность отказа вентиляционной системы при повышенном пылеобразовании.

Описание системы

Вентиляционная система (рис. 2.3), удаляющая запыленный воздух из рабочей зоны, состоит из пылезащищенного вентилятора, системы воздуховодов с двумя зонтами и устройств очистки от пыли.

Работа пылящих машин напрямую зависит от исправности вентиляционной системы. Соединение всех пылящих машин и вентиляции через блок запуска с таймером задержки обеспечивает наибольшую степень защиты от возможного взрыва.

При включении оборудования первой запускается система вентиляции, и только через 3 минуты, если блок управления принял сигналы от датчиков системы о исправном её состоянии, включается оборудование. Такой контроль исключает увеличение концентрации пыли и тем самым уменьшает риск взрыва пылевоздушной смеси.



1 – дроссельная заслонка; 2 – вытяжной зонт; 3 – фильтр карманный; 4 – датчик засорения фильтра и работы вентилятора; 5 – циклон; 6 – датчик засорения циклона; 7 – вентилятор; 8 – ременная передача; 9 – виброопора; 10 – основание

Рисунок 2.3 - Схема вентиляционной системы

Перечень отказов системы вентиляции:

1) снижение давления в воздуховоде после карманного фильтра (засорение фильтра);

- 2) уменьшение концентрации пыли при прохождении воздуха через циклон незначительное (засорение циклона);
- 3) отказ предохранителя;
- 4) выход из строя подшипника электродвигателя;
- 5) выход из строя крыльчатки охлаждения электродвигателя;
- 6) межвитковое замыкание обмотки электродвигателя;
- 7) обрыв обмотки электродвигателя;
- 8) отказ концевого выключателя;
- 9) выход из строя пульта управления;
- 10) выход из строя сигнализатора засорения карманного фильтра;
- 11) выход из строя сигнализатора засорения циклона;
- 12) выход из строя дроссельной заслонки зонта;
- 13) износ сальникового уплотнителя;
- 14) износ соединения вала и блоков ременной передачи;
- 15) износ ременной передачи;
- 16) выход из строя подшипника вала рабочего колеса;
- 17) износ постоянной муфты.

Наработка на отказ вентиляционной системы определяется по формуле

$$T = 1/\lambda_{сл},$$

где $\lambda_{сл}$ – интенсивность отказа самого слабого элемента системы.

$$T = 16000 \text{ ч.}$$

Рассчитываются значения вероятностей безотказной работы для звеньев по формуле $P(t) = e^{-\lambda T}$. Значения интенсивностей отказов элементов системы выбраны из [2], [10]. Результаты расчетов приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы элементов вентиляционной системы

№ п/п	Наименование отказа	Интенсивность отказа λ , ч ⁻¹	Вероятность безотказной работы $P(i)$
1	Снижение давления в воздуховоде	$\lambda(1) = 8 \cdot 10^{-6}$	$P(1) = e^{-\lambda T} = 0,88$
2	Уменьшение концентрации пыли	$\lambda(2) = 8 \cdot 10^{-6}$	$P(2) = e^{-\lambda T} = 0,88$
3	Отказ предохранителя	$\lambda(3) = 5 \cdot 10^{-6}$	$P(3) = e^{-\lambda T} = 0,92$
4	Выход из строя подшипника электродвигателя	$\lambda(4) = 2,22 \cdot 10^{-6}$	$P(4) = e^{-\lambda T} = 0,97$
5	Выход из строя крыльчатки охлаждения электродвигателя	$\lambda(5) = 1,1 \cdot 10^{-7}$,	$P(5) = e^{-\lambda T} = 0,99$
6	Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя	$\lambda(6) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(6) = e^{-\lambda T} = 0,99$
7	Обрыв обмотки электродвигателя	$\lambda(7) = 3 \cdot 10^{-8}$	$P(7) = e^{-\lambda T} = 0,99$
8	Отказ концевого выключателя	$\lambda(8) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(8) = e^{-\lambda T} = 0,95$
9	Выход из строя пульта управления	$\lambda(9) = 3 \cdot 10^{-7}$	$P(9) = e^{-\lambda T} = 0,99$
10	Выход из строя сигнализатора засорения карманного фильтра	$\lambda(10) = 5,3 \cdot 10^{-6}$	$P(10) = e^{-\lambda T} = 0,92$
11	Выход из строя сигнализатора засорения циклона	$\lambda(11) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(11) = e^{-\lambda T} = 0,95$
12	Выход из строя дроссельной заслонки зонта	$\lambda(12) = 3,4 \cdot 10^{-6}$	$P(12) = e^{-\lambda T} = 0,95$
13	Износ сальникового уплотнителя	$\lambda(13) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(13) = e^{-\lambda T} = 0,94$
14	Износ соединения вала и блоков ременной передачи	$\lambda(14) = 0,25 \cdot 10^{-6}$	$P(14) = e^{-\lambda T} = 0,99$
15	Износ ременной передачи	$\lambda(15) = 3,6 \cdot 10^{-6}$	$P(15) = e^{-\lambda T} = 0,94$
16	Выход из строя подшипника вала рабочего колеса	$\lambda(16) = 2 \cdot 10^{-6}$	$P(16) = e^{-\lambda T} = 0,95$
17	Износ постоянной муфты	$\lambda(17) = 2,5 \cdot 10^{-6}$	$P(17) = e^{-\lambda T} = 0,96$

«Дерево неисправностей» вентиляционной системы показано на рисунке 2.4.

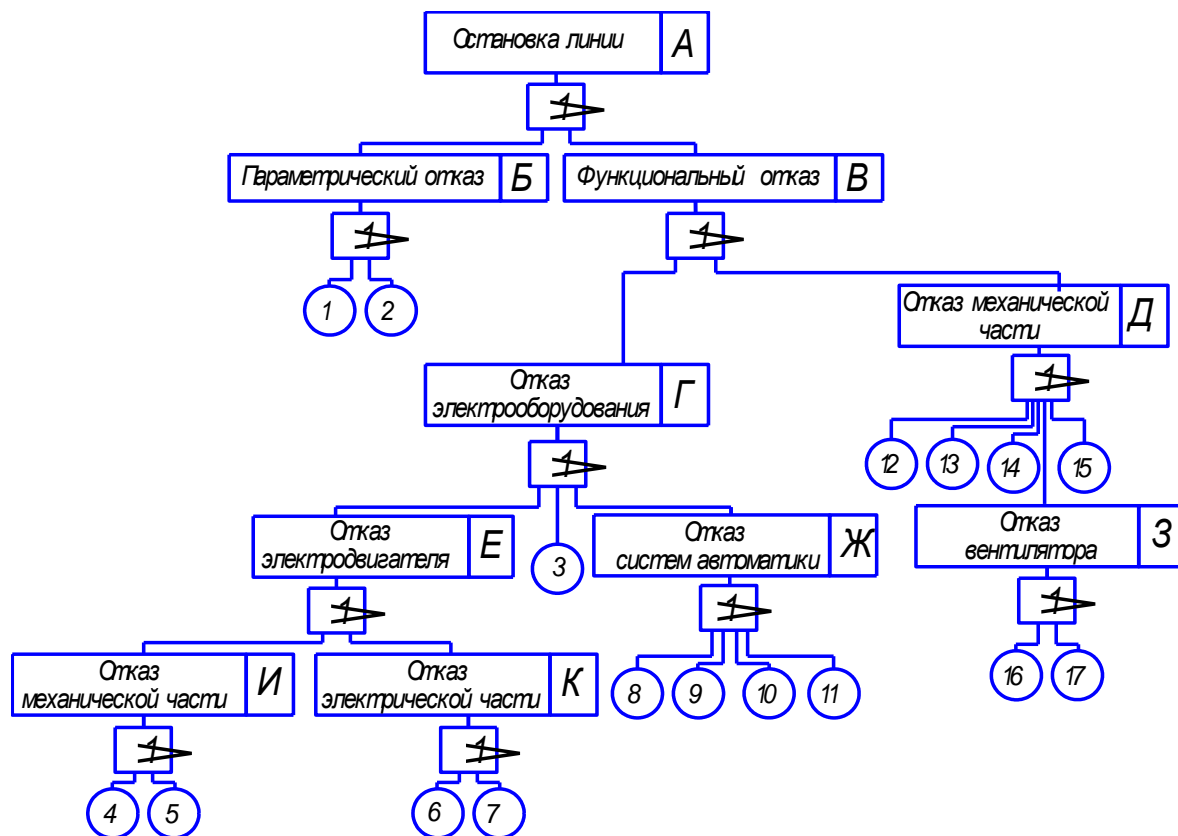


Рисунок 2.4 - «Дерево неисправностей» вентиляционной системы

Необходимо определить вероятность отказа системы.

Решение:

1. Определяется вероятность появления события *Б* (параметрический отказ) для параллельного соединения элементов:

Из $P(t) + Q(t) = 1$ следует, что $Q(t) = 1 - P(t)$, тогда

$$Q(B) = Q(1) + Q(2) - Q(1) \cdot Q(2) = 1 - P(1) \cdot P(2);$$

$$Q(B) = 0,226 = 2,26 \cdot 10^{-1}.$$

2. Определяется вероятность появления события *И* (отказ механической части электродвигателя):

$$Q(I) = Q(4) + Q(5) - Q(4) \cdot Q(5) = 1 - P(4) \cdot P(5);$$

$$Q(I) = 0,04 = 4 \cdot 10^{-2}.$$

3. Определяется вероятность появления события K (отказ электрической части электродвигателя):

$$Q(K) = Q(6) + Q(7) - Q(6) \cdot Q(7) = 1 - P(6) \cdot P(7);$$

$$Q(K) = 0,002 = 2 \cdot 10^{-3}.$$

4. Определяется вероятность появления события E (выход из строя электродвигателя):

$$Q(E) = Q(I) + Q(K) - Q(I) \cdot Q(K);$$

$$Q(E) = 0,06 = 6 \cdot 10^{-2}.$$

5. Определяется вероятность появления события $Ж$ (выход из строя систем автоматики):

$$Q(Ж) = 1 - P(8) \cdot P(9) \cdot P(10) \cdot P(11);$$

$$Q(Ж) = 0,17 = 1,7 \cdot 10^{-1}.$$

6. Определяется вероятность появления промежуточного вершинного события Γ (выход из строя электрооборудования). Событие может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из трех событий E , $Ж$ и $З$, причем событие $З$ является элементарным:

$$Q(\Gamma) = 1 - P(E) \cdot P(З) \cdot P(Ж);$$

$$Q(\Gamma) = 0,28 = 2,8 \cdot 10^{-1}.$$

7. Определяется вероятность появления события $З$ (выход из строя вентилятора):

$$Q(З) = 1 - P(16) \cdot P(17);$$

$$Q(З) = 0,097 = 9,7 \cdot 10^{-2}.$$

8. Определяется вероятность появления промежуточного вершинного события D (выход из строя механической части). Событие может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из пяти событий 12, 13, 14, 15 и $З$, причем события 12, 13, 14, 15 являются элементарными.

$$Q(D) = 1 - P(12) \cdot P(13) \cdot P(14) \cdot P(15) \cdot P(З);$$

$$Q(D) = 0,24 = 2,4 \cdot 10^{-1}.$$

9. Определяется вероятность появления промежуточного вершинного со-

бытия B (функциональный отказ). Событие может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из двух событий D или Γ .

$$Q(B) = 1 - P(D) \cdot P(\Gamma);$$

$$Q(B) = 0,29 = 2,9 \cdot 10^{-1}.$$

10. Определяется вероятность появления вершинного события A (отказ вентиляционной системы). Событие может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из двух событий B или B .

$$Q(A) = Q(B) + Q(B) - Q(B) \cdot Q(B) = 1 - P(B) \cdot P(B);$$

$$Q(A) = 0,45 = 4,5 \cdot 10^{-1}.$$

Таким образом, вероятность отказа системы равна 0,45.

Вероятность безотказной работы рассчитывается по формуле

$$P(t) + Q(t) = 1;$$

$$P(t) = 0,55.$$

Вероятность безотказной работы вентиляционной системы в период нормальной эксплуатации равна 0,55.

2.3 Расчет надежности и анализ риска сварочного цеха

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах является частью управления промышленной безопасностью.

Объект анализа – сварочный цех.

Цель и задачи анализа риска объекта:

– выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал, население, имущество и окружающую природную среду;

– обеспечение информацией для разработки инструкций, технологического регламента и планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций.

Таким образом, основная задача анализа риска заключается в том, чтобы предоставить объективную информацию о состоянии промышленного объекта лицам, принимающим решения в отношении безопасности анализируемого объекта.

Количественная оценка риска относится к задаче, решаемой с использованием методов теории вероятности, она базируется на статистике аварийных ситуаций, происшедших ранее на аналогичных объектах. Основной базой для оценки риска, в связи с ограниченным распространением информации по аварийности на объектах в предшествующий период, является качественная оценка опасностей, основанная на инженерном опыте проектных институтов и эксплуатационных служб, использующих запроектированные объекты в сфере промышленного производства.

Основные процедуры анализа риска:

- планирование и организация работ;
- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по уменьшению риска.

В качестве источников риска рассматриваются сварочный аппарат-выпрямитель постоянного тока «ДУГА 318 М1» (рис. 2.5) и полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К» (рис. 2.6 и).

Описание объектов

1. Сварочный аппарат-выпрямитель постоянного тока «ДУГА 318 М1» предназначен для ручной дуговой сварки прямого и сложного профиля различных металлов и сплавов на постоянном токе любой полярности всеми видами электродов, а также в среде защитных газов. Его можно использовать в производственных цехах и полевых условиях, в передвижных мастерских, коммунальном хозяйстве и т. п. «ДУГА 318 М1» имеет разные исполнения по подключению к сети 220 и 380 В. Габаритные размеры аппарата 400 × 300 × 360 мм.

Климатическое исполнение аппарата – У, категория размещения – 3, тип атмосферы II по ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатиче-

ских факторов внешней среды», но для работ при нижнем значении температуры окружающей среды от 258 К (–15 °С) до 313 К (+40 °С).

Не допускается использование аппаратов во взрывоопасной среде, а также содержащей едкие пары и газы, разрушающие металлы и изоляцию.

Допускается кратковременная (не более 6 ч) эксплуатация аппарата при температуре окружающей среды 318 К (+45 °С) и относительной влажности 98 %. Степень жесткости климатических факторов внешней среды III по ГОСТ 16962.1.

Степень защиты по IP 22 согласно ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (КОД IP)».

2. Полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К»

В состав сварочного полуавтомата входят (рис. 2.4): горелка 1 (комплект) со шлангом 2; механизм 3 подачи электродной проволоки; кассета 5; катушка или другие устройства, являющиеся емкостями для электродной проволоки; шкаф 4 или блок управления, если он конструктивно не объединен с источником питания; источник питания 7; провода 9 для сварочной цепи и 8 цепей управления; редуктор 10 и аппаратура для регулирования и измерения расхода газа; шланг 6 для газа в полуавтоматах для сварки в защитных газах; подогреватель газа в полуавтоматах для сварки в среде углекислого газа, устройство для подачи флюса в полуавтоматах для сварки под флюсом.



Рисунок 2.5 - Сварочный аппарат-выпрямитель постоянного тока «ДУГА 318 М1»



Рисунок 2.6 - Полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К»

Механизм подачи ПДГО-570-4К с четырьмя ведущими роликами предназначен для дуговой сварки в защитных газах (углекислый газ, аргон и т.п.) изделий из малоуглеродистых, низколегированных и легированных сталей, алюминия и его сплавов протяженным прерывистым швом и электрозаклепками. Сварка осуществляется постоянным током обратной полярности плавящейся электродной проволокой. Допускается использование порошковой проволоки. Встроенный блок управления обеспечивает высокую стабильность скорости подачи проволоки и позволяет регулировать все необходимые параметры сварки. Подающий механизм ПДГО-570-4К оснащен встроенным цифровым унифицированным блоком управления сварочными процессами.

Таблица 2.5 - Вероятность возникновения аварийной ситуации

№ п/п	Событие	Вероятность $P(t)$
1	Нарушение правил безопасности	$5 \cdot 10^{-4}$
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	$4 \cdot 10^{-5}$
3	Разрыв сварочных резино-тканевых рукавов	$3 \cdot 10^{-5}$
4	Механическое повреждение редуктора	$5 \cdot 10^{-5}$
5	Выход из строя гайки редуктора	$2 \cdot 10^{-6}$
6	Выход из строя прокладки	$4 \cdot 10^{-4}$
7	Превышение давления газа в баллоне	$4 \cdot 10^{-6}$
8	Эксплуатация неисправного баллона	$2 \cdot 10^{-5}$

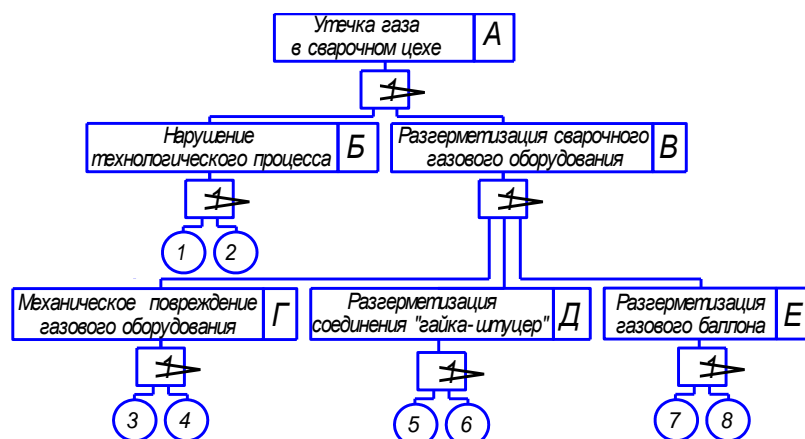


Рисунок 2.7 - Вероятность утечки газа в сварочном цехе

Расчет вероятности возникновения аварийной ситуации:

$$1. P_A = P_B + P_B - P_B \cdot P_B;$$

$$2. P_B = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

$$3. P_B = P_\Gamma + P_\Delta + P_E - P_\Gamma \cdot P_\Delta - P_\Delta \cdot P_E - P_E \cdot P_\Gamma + P_\Gamma \cdot P_\Delta \cdot P_E;$$

$$4. P_\Gamma = P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4;$$

$$5. P_\Delta = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6;$$

$$6. P_E = P_7 + P_8 - P_7 \cdot P_8.$$

Расчет вероятности причинения ущерба здоровью (по данным табл. 2.6):

$$1. R = 1 - (1 - P_B) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_\Gamma) \cdot (1 - P_\Delta) \cdot (1 - P_E) \cdot (1 - P_{Ж}) \cdot (1 - P_3).$$

$$2. P_B = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

$$3. P_B = P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4;$$

$$4. P_\Gamma = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6;$$

$$5. P_\Delta = P_7 + P_8 - P_7 \cdot P_8;$$

$$6. P_E = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10};$$

$$7. P_{Ж} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12};$$

$$8. P_3 = 1 - (1 - P_{13}) \cdot (1 - P_{14}) \cdot (1 - P_{15}).$$

Таблица 2.6 - Вероятность событий, приводящих к причинению ущерба здоровью электросварщика

№ п/п	Событие	Вероят- ность $P(t)$
1	Прикосновение к токоведущим частям сварочного оборудования	$5 \cdot 10^{-4}$
2	Работа без электрозащитных средств	$2 \cdot 10^{-4}$
3	Выполнение работ без защитного щитка	$2 \cdot 10^{-4}$
4	Выполнение работ без спецодежды	$4 \cdot 10^{-4}$
5	Травмирование в процессе сварки при падении изделия	$3 \cdot 10^{-4}$

6	Травмирование в процессе подготовки изделия	$2 \cdot 10^{-4}$
7	Попадание расплавленного металла на легковоспламеняющийся материал	$4 \cdot 10^{-5}$
8	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-4}$
9	Попадание раскаленного металла на открытые части тела	$2 \cdot 10^{-5}$
10	Прикосновение к открытому огню	$2 \cdot 10^{-5}$
11	Превышение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны	$5 \cdot 10^{-4}$
12	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-6}$
13	Возникновение взрывоопасной концентрации	$4 \cdot 10^{-5}$
14	Работа вблизи легковоспламеняющихся веществ	$3 \cdot 10^{-4}$
15	Наличие источника огня	$5 \cdot 10^{-4}$

«Дерево рисков» показано на рисунке 2.8.

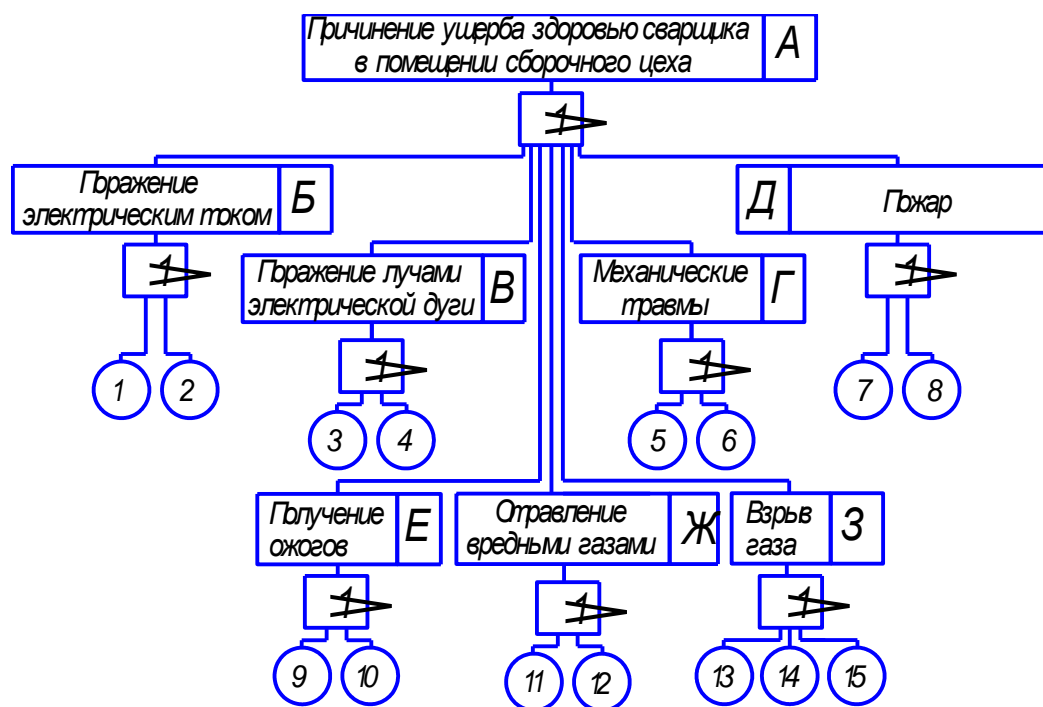


Рис. 2.8 - «Дерево рисков» причинения ущерба здоровью

Риск причинения ущерба здоровью газоэлектросварщика до выполнения мероприятий по улучшению условий труда:

$$R = 1 - (1 - 2,5 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 8 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 3,2 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 3,4 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-5}) \times \\ \times (1 - 5 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 - 6 \cdot 10^{-12}) = 2,8 \cdot 10^{-4}.$$

Риск причинения ущерба здоровью газосварщика после выполнения мероприятий по улучшению условий труда:

$$R = 1 - (1 - 2,5 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 8 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 3,2 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 3,4 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-5}) \times \\ \times (1 - 6 \cdot 10^{-12}) = 1,8 \cdot 10^{-4}.$$

После выполнения мероприятий риск причинения ущерба здоровью газосварщика уменьшается на $\Delta = 2,8 \cdot 10^{-4} - 1,8 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4}$.

По результатам выполненных расчетов:

1. Вероятность утечки газа в помещении сварочного цеха:

$$P_A = 1,1 \cdot 10^{-5}.$$

2. Риск причинения ущерба здоровью:

$$R = 1,4 \cdot 10^{-4}.$$

Профессиональная деятельность газосварщика относится ко второй категории безопасности как относительно безопасная работа

$$R = 10^{-4} \dots 10^{-3}.$$

2.4 Расчет надежности и анализ риска окрасочной линии

Недостаточная надежность оборудования приводит к огромным затратам на ремонт, простоям оборудования, прекращению снабжения населения электроэнергией, водой, газом, транспортными средствами, невыполнению ответственных задач, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями, разрушением крупных объектов и с человеческими жертвами.

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудовании применяется анализ методом «дерева неисправностей».

Оценка возможности отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем производится на основе статистических данных по интенсивности их отказа.

Окрасочная линия состоит из большого количества технических элементов, отказ которых может привести к её поломке или преждевременному износу основных узлов, что может существенно повлиять на процессы промывки, окраски и сушки изделий. В состав линии входят цепной подвесной конвейер, пневмооборудование и гидрооборудование, а также такие электроприборы и устройства, как инфракрасные панели, электродвигатели, концевые выключатели и т. д. Нарботка на отказ линии составляет более 20 000 ч. Значения интенсивности отказов приведены в таблице 27.

Рассматривается период нормальной эксплуатации, когда $\lambda = \text{const}$.

Таблица 2.7 - Интенсивность отказов элементов окрасочной линии

Поз.	Наименование отказа	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-4}, \text{ч}^{-1}$
1	Отказ концевого выключателя	3
2	Отказ таймера промывочной камеры	0,75
3	Отказ таймера № 1 сушильной камеры	0,75
4	Отказ таймера № 2 сушильной камеры	0,75
5	Отказ инфракрасной камеры	0,9
6	Отказ датчика тока вентиляторов камеры	0,6
7	Отказ датчика потребления тока инфракрасных панелей	0,6
8	Отказ предохранителя	0,35

9	Отказ подшипника электродвигателя вентилятора камеры предварительной сушки, окрасочной камеры, сушильной камеры, насоса и конвейера	0,3
10	Поломка крыльчатки электродвигателя вентилятора	0,1
11	Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя	1,17
12	Обрыв обмотки электродвигателя вентилятора	0,9
13	Отказ электропневмоклапана открытия дверей	1,1
14	Замыкание кабеля электропневмоклапана на корпус	0,7
15	Износ манжеты пневмоцилиндра ворот камер	4,3
16	Износ воздушного шланга пневмосистемы	3,66
17	Отказ подшипника электродвигателя насоса	0,3
18	Поломка крыльчатки электродвигателя насоса	0,1
19	Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя насоса	1,17
20	Обрыв обмотки электродвигателя насоса	0,9
21	Отказ подшипника насоса	0,43
22	Износ сальника насоса	4
23	Отказ обратного клапана	1,7
24	Потеря герметичности трубопровода	1,1
25	Отказ подшипника подвесной каретки линии	0,65
26	Износ роликовой цепи линии	5
27	Поломка пружины натяжной звездочки линии	0,1125
28	Износ зубьев натяжной звездочки линии	1,5
29	Отказ подшипника электродвигателя конвейера	0,3
30	Поломка крыльчатки электродвигателя конвейера	0,1

31	Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя конвейера	1,17
32	Обрыв обмотки электродвигателя конвейера	0,9
33	Отказ редуктора привода конвейера	2
34	Износ зубьев приводной звездочки конвейера	1,5
35	Отказ редуктора привода конвейера	2
36	Поломка крыльчатки вытяжного вентилятора окрасочной камеры	0,15
37	Нарушение техпроцесса промывки изделия	1,5
38	Нарушение техпроцесса сушки изделия	1,7
39	Нарушение техпроцесса фильтрации воздуха	1
40	Нарушение движения изделия через камеры	2,5

По формуле $P(t) = e^{-\lambda t}$ определяется вероятность безотказной работы каждого элемента при $t = 20000$ ч (результаты расчетов приведены таблице 2.8).

Таблица 2.8 - Расчет вероятности безотказной работы элементов в период нормальной эксплуатации

$P(1) = e^{-0,00003 \cdot 20000} = 0,548$	$P(21) = e^{-0,0000043 \cdot 20000} = 0,917$
$P(2) = e^{-0,0000075 \cdot 20000} = 0,861$	$P(22) = e^{-0,00004 \cdot 20000} = 0,449$
$P(3) = e^{-0,0000075 \cdot 20000} = 0,861$	$P(23) = e^{-0,000017 \cdot 20000} = 0,711$
$P(4) = e^{-0,0000075 \cdot 20000} = 0,861$	$P(24) = e^{-0,000011 \cdot 20000} = 0,803$
$P(5) = e^{-0,000009 \cdot 20000} = 0,835$	$P(25) = e^{-0,0000065 \cdot 20000} = 0,878$
$P(6) = e^{-0,000006 \cdot 20000} = 0,886$	$P(26) = e^{-0,00005 \cdot 20000} = 0,368$
$P(7) = e^{-0,000006 \cdot 20000} = 0,886$	$P(27) = e^{-0,00001125 \cdot 20000} = 0,978$

Продолжение таблицы 2.8

$P(8) = e^{-0,0000035 \cdot 20000} = 0,932$	$P(28) = e^{-0,000015 \cdot 20000} = 0,741$
$P(9) = e^{-0,000003 \cdot 20000} = 0,942$	$P(29) = e^{-0,000003 \cdot 20000} = 0,942$
$P(10) = e^{-0,000001 \cdot 20000} = 0,98$	$P(30) = e^{-0,000001 \cdot 20000} = 0,98$
$P(11) = e^{-0,0000117 \cdot 20000} = 0,79$	$P(31) = e^{-0,0000117 \cdot 20000} = 0,79$
$P(12) = e^{-0,000009 \cdot 20000} = 0,835$	$P(32) = e^{-0,000009 \cdot 20000} = 0,835$
$P(13) = e^{-0,000011 \cdot 20000} = 0,818$	$P(33) = e^{-0,00002 \cdot 20000} = 0,67$
$P(14) = e^{-0,000007 \cdot 20000} = 0,869$	$P(34) = e^{-0,000015 \cdot 20000} = 0,741$
$P(15) = e^{-0,000043 \cdot 20000} = 0,423$	$P(35) = e^{-0,00002 \cdot 20000} = 0,67$
$P(16) = e^{-0,0000366 \cdot 20000} = 0,481$	$P(36) = e^{-0,0000015 \cdot 20000} = 0,97$
$P(17) = e^{-0,000003 \cdot 20000} = 0,942$	$P(37) = e^{-0,000015 \cdot 20000} = 0,741$
$P(18) = e^{-0,000001 \cdot 20000} = 0,98$	$P(38) = e^{-0,000017 \cdot 20000} = 0,718$
$P(19) = e^{-0,0000117 \cdot 20000} = 0,802$	$P(39) = e^{-0,00001 \cdot 20000} = 0,819$
$P(20) = e^{-0,000009 \cdot 20000} = 0,835$	$P(40) = e^{-0,000025 \cdot 20000} = 0,607$

Вероятность отказа элемента определяется по формуле

$$P(t) + Q(t) = 1.$$

1. Определяется вероятность отказа электрической части электродвигателя привода конвейера (подсистемы Щ) и вероятность безотказной работы:

$$Q(\text{Щ}) = 1 - P(31) \cdot P(32);$$

$$Q(\text{Щ}) = 0,34; \quad P(\text{Щ}) = 0,66.$$

2. Определяется вероятность отказа механической части электродвигателя привода конвейера (подсистемы Ш) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(\text{Ш}) = 1 - P(29) \cdot P(30);$$

$$Q(Ш) = 0,076; \quad P(Ш) = 0,923.$$

3. Определяется вероятность отказа электродвигателя привода конвейера (подсистемы $Ч$) и вероятность его безотказной работы:

$$Q(Ч) = 1 - P(Ш) \cdot P(Щ);$$

$$Q(Ч) = 0,39; \quad P(Ч) = 0,61.$$

4. Определяется вероятность отказа электрической части привода конвейера (подсистемы T) и вероятность ее безотказной работы. По «дереву неисправностей» (рис. 2.7) $T = Ч$.

$$Q(T) = Q(Ч) = 0,39; \quad P(T) = P(Ч) = 0,61.$$

5. Определяется вероятность отказа механической части привода конвейера (подсистемы $У$) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(У) = 1 - P(33) \cdot P(34);$$

$$Q(У) = 0,503; \quad P(У) = 0,496.$$

6. Определяется вероятность отказа привода конвейера (подсистемы H) и вероятность его безотказной работы:

$$Q(H) = 1 - P(T) \cdot P(У);$$

$$Q(H) = 0,697; \quad P(H) = 0,303.$$

7. Определяется вероятность отказа механической части окрасочной линии (подсистемы $Ж$) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(Ж) = 1 - P(25) \cdot P(26) \cdot P(H) \cdot P(27) \cdot P(28) \cdot P(35) \cdot P(36);$$

$$Q(Ж) = 0,95; \quad P(Ж) = 0,05.$$

8. Определяется вероятность отказа механической части электродвигателей насосов (подсистемы Φ) и вероятность ее безотказной работы

$$Q(\Phi) = 1 - P(17) \cdot P(18);$$

$$Q(\Phi) = 0,076; \quad P(\Phi) = 0,923.$$

9. Определяется вероятность отказа электрической части электродвигателей насосов (подсистемы X) и вероятность ее безотказной работы

$$Q(X) = 1 - P(19) \cdot P(20);$$

$$Q(X) = 0,33; \quad P(X) = 0,67.$$

10. Определяется вероятность отказа электродвигателей насосов (подсистемы P) и вероятность их безотказной работы:

$$Q(P) = 1 - P(\Phi) \cdot P(X);$$

$$Q(P) = 0,382; \quad P(P) = 0,618.$$

11. Определяется вероятность отказа электрической части гидрооборудования (подсистемы L) и вероятность ее безотказной работы. По «дереву неисправностей» $P = L$.

$$Q(L) = 0,382; \quad P(L) = 0,618.$$

12. Определяется вероятность отказа трубопровода (подсистемы C) и вероятность его безотказной работы:

$$Q(C) = 1 - P(23) \cdot P(24);$$

$$Q(C) = 0,43; \quad P(C) = 0,57.$$

13. Определяется вероятность отказа механической части гидрооборудования (подсистемы M) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(M) = 1 - P(21) \cdot P(22) \cdot P(C);$$

$$Q(M) = 0,77; \quad P(M) = 0,23.$$

14. Определяется вероятность отказа гидрооборудования (подсистемы E)

и вероятность его безотказной работы:

$$Q(E) = 1 - P(L) \cdot P(M);$$

$$Q(E) = 0,86; \quad P(E) = 0,14.$$

15. Определяется вероятность отказа электрической части пневмооборудования (подсистемы *I*) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(I) = 1 - P(13) \cdot P(14);$$

$$Q(I) = 0,289; \quad P(I) = 0,711.$$

16. Определяется вероятность отказа механической части пневмооборудования (подсистемы *K*) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(K) = 1 - P(15) \cdot P(16);$$

$$Q(K) = 0,797; \quad P(K) = 0,203.$$

17. Определяется вероятность отказа пневмооборудования (подсистемы *D*) и вероятность его безотказной работы:

$$Q(D) = 1 - P(I) \cdot P(K);$$

$$Q(D) = 0,999; \quad P(D) = 0,001.$$

18. Определяется вероятность отказа механической части электродвигателей вентиляторов (подсистемы *O*) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(O) = 1 - P(9) \cdot P(10);$$

$$Q(O) = 0,007; \quad P(O) = 0,923.$$

19. Определяется вероятность отказа электрической части электродвигателей вентиляторов (подсистемы *П*) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(П) = 1 - P(11) \cdot P(12);$$

$$Q(П) = 0,34; \quad P(П) = 0,66.$$

20. Определяется вероятность отказа электродвигателей вентиляторов (подсистемы *З*) и вероятность их безотказной работы:

$$Q(3) = 1 - P(O) \cdot P(\Pi);$$

$$Q(3) = 0,339; \quad P(\Pi) = 0,609.$$

21. Определяется вероятность отказа электрооборудования окрасочной линии (подсистемы Γ) и вероятность его безотказной работы:

$$Q(\Gamma) = 1 - P(1) \cdot P(2) \cdot P(3) \cdot P(4) \cdot P(\langle\langle 3 \rangle\rangle) \times P(5) \cdot P(6) \cdot P(7) \cdot P(8);$$

$$Q(\Gamma) = 0,87; \quad P(\Gamma) = 0,13.$$

22. Определяется вероятность отказа подсистемы B и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(B) = 1 - P(\Gamma) \cdot P(D) \cdot P(E) \cdot P(\mathcal{J});$$

$$Q(B) = 0,999; \quad P(B) = 0,001.$$

23. Определяется вероятность отказа подсистемы B и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(B) = 1 - P(37) \cdot P(38) \cdot P(39) \cdot P(40);$$

$$Q(B) = 0,74; \quad P(B) = 0,26.$$

24. Определяется вероятность отказа окрасочной линии (системы A) и вероятность ее безотказной работы:

$$Q(A) = 1 - P(B) \cdot P(B);$$

$$Q(A) = 0,99974; \quad P(B) = 0,00026.$$

Полученное значение вероятности отказа системы свидетельствует о том, что система ненадежна. Показатели ее безотказности могут быть улучшены путем резервирования тех звеньев, вероятность отказа которых велика, с целью улучшения показателей безотказности наименее надежных подсистем и (или) путем уменьшения расчетного времени t .

На рисунке 2.9 представлено «дерево неисправностей» окрасочной линии.

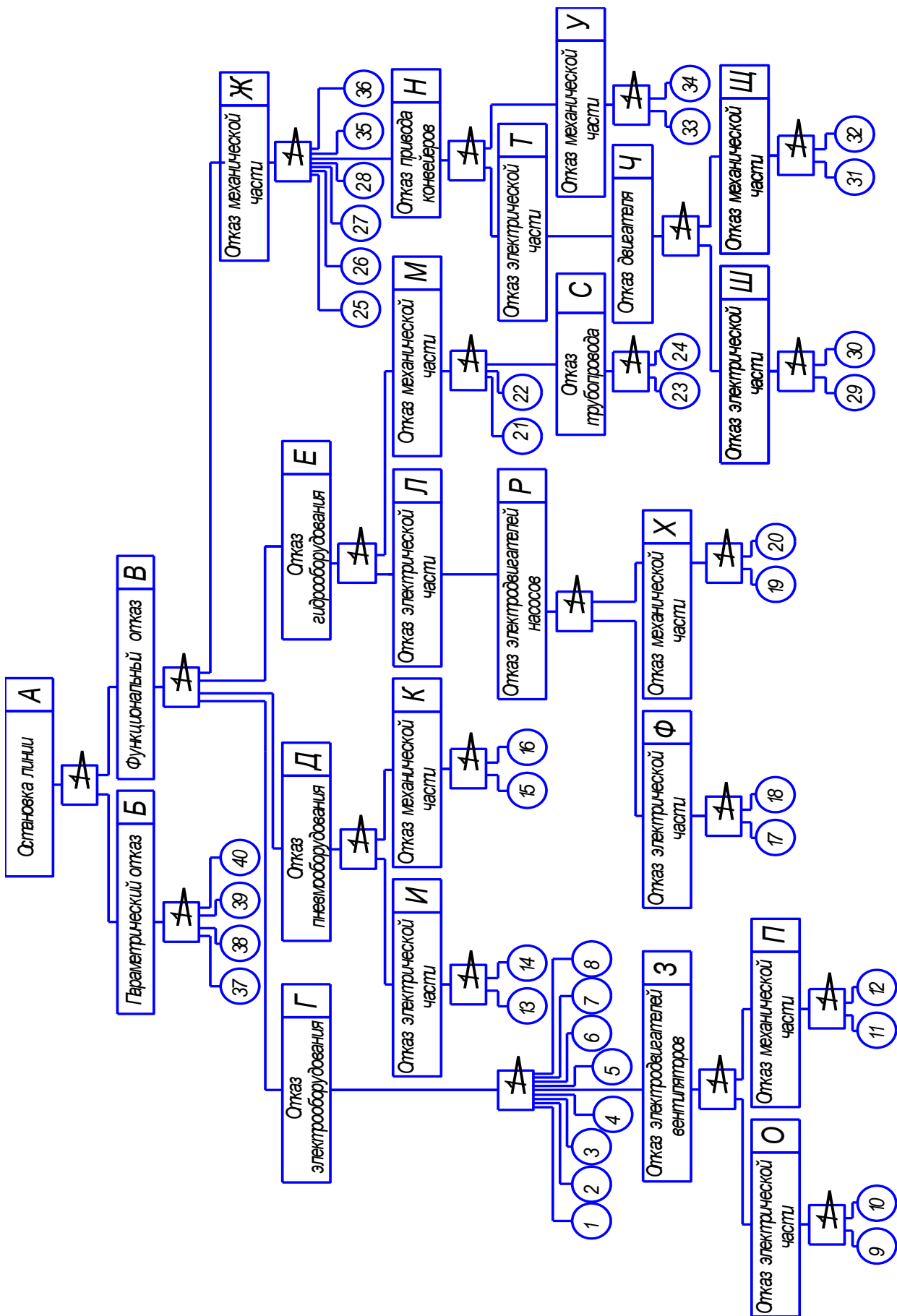


Рисунок 2.9 - «Дерево неисправностей» окрасочной линии

В процессе трудовой деятельности на работника воздействуют факторы производственной среды и трудового процесса, которые могут оказать отрицательное влияние на здоровье.

Описание причин возникновения травмоопасной ситуации

А. До внедрения мероприятия:

1. Вероятность травмирования работника $P_{тр.р}$ определяется вероятностью самотравмирования $P_{с.тр}$.

2. Вероятность $P_{с.тр}$ может быть обусловлена одной из следующих причин:

- отравлением парами растворителя;
- травмированием ног перевозимыми деталями;
- наездом погрузчика.

$$P_{тр.р} = P_{с.тр} = (P_1 + P_2 + P_3) - P_1 \cdot P_2 - P_2 \cdot P_3 - P_3 \cdot P_1 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3;$$

$$P_{тр.р} = 5,52 \cdot 10^{-3} - 2,642 \cdot 10^{-3} + 0,21 \cdot 10^{-3} = 3,088 \cdot 10^{-3}.$$

$$R = P_{тр.р.} = 3,088 \cdot 10^{-3}.$$

Таким образом, работы на окрасочном участке до внедрения мероприятия относятся к категории опасных.

Б. После внедрения мероприятия:

1. Вероятность травмирования работника $P_{тр.р}$ определяется вероятностью самотравмирования $P_{с.тр}$.

2. Вероятность $P_{с.тр}$ может быть обусловлена одной из следующих причин:

- ожогом рук горячей деталью;
- травмированием головы;
- наездом погрузчика.

$$P_{тр.р} = P_{с.тр} = (P_1 + P_2 + P_3) - P_1 \cdot P_2 - P_2 \cdot P_3 - P_3 \cdot P_1 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3;$$

$$P_{тр.р} = 0,8 \cdot 10^{-3} - 0,19 \cdot 10^{-3} + 0,012 \cdot 10^{-3} = 0,622 \cdot 10^{-3}.$$

$$R = P_{тр,р} = 0,622 \cdot 10^{-3}.$$

Следовательно, работа на окрасочной линии относится к категории относительно безопасных.

Оценка эффективности мероприятий:

$$\Delta R = R \text{ (до внедрен.)} - R \text{ (после внедрен.)} = 3,088 \cdot 10^{-3} - 0,622 \cdot 10^{-3} = 2,466 \cdot 10^{-3},$$

из этого следует, что опасность травмирования на окрасочном участке после внедрения мероприятия по улучшению условий труда значительно снизилась.

На рисунке 2.10 представлено «дерево рисков» до и после внедрения мероприятия.

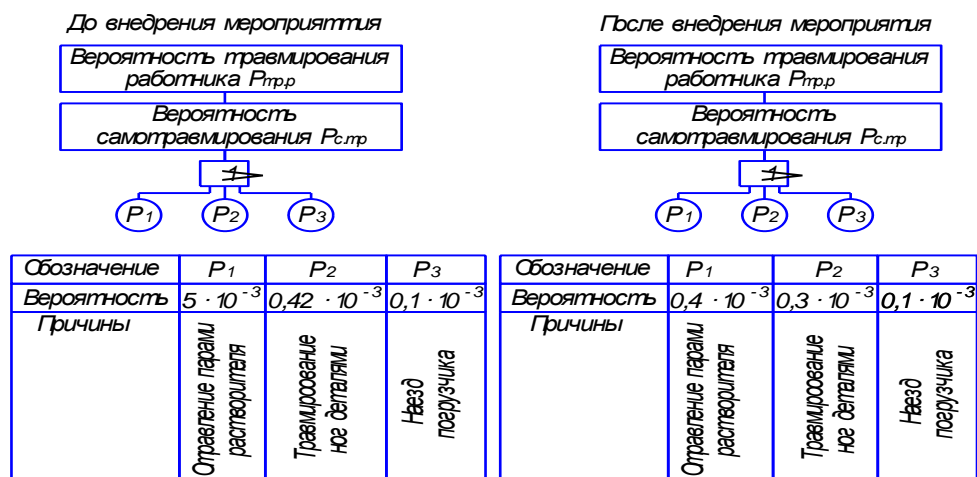


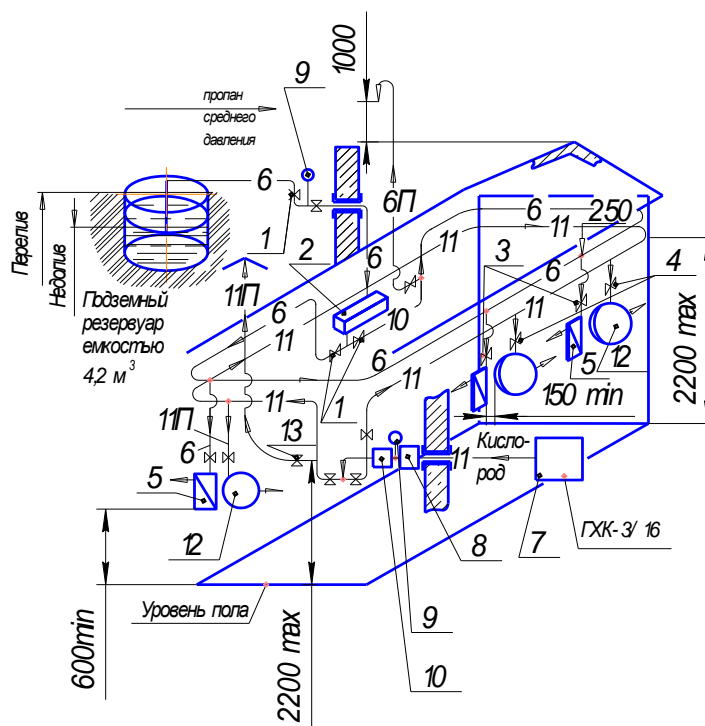
Рисунок 2.10 - «Дерево рисков» при работе на окрасочном участке

2.5 Расчет надежности и анализ риска системы газоснабжения

Рассматривается типовая схема централизованного газоснабжения постов, изображенных на рисунке 2.11.

Кислород поступает к стационарным рабочим постам по газопроводу 11 от соответствующего источника питания (газификатор). Пропан поступает по газопроводу 6 из подземного резервуара емкостью 4,2 м³. Пропан подается непосредственно в цеховой газопровод. На входе трубопровода пропана в цех устанавливается центральный предохранительный сухой затвор 1 (запорная арматура), предназначенный для защиты межцехового газопровода от проникновения в

него обратного удара пламени. Непосредственно за затвором (по ходу газа) на вводе газа в цех устанавливается шкаф 2 ввода пропана с запорным вентиляем и манометром, которые должны располагаться в доступном и удобном месте. Запорные вентили 1 устанавливают также на ответвлениях трубопровода пропана, предназначенных для подачи пропана на отдельные участки цеха.



- 1 – запорная арматура; 2 – шкаф ввода пропана; 3 – обратный клапан; 4 – клапан обратный огнепреградительный; 5 – газообразный пост пропана; 6 – газопровод пропана; 7 – ГХК-3/16 (газификатор холодный криогенный); 8 – регулятор давления;
- 9 – дифманометр; 10 – редуктор БКО; 11 – газопровод кислорода; 11П – трубопровод для сброса кислорода; 6П – газопровод для сброса пропана; 12 – газообразный пост кислорода; 13 – вентиль для кислорода

Рисунок 2.11 - Схема централизованного снабжения газорезательных постов пропаном и кислородом

К трубопроводу пропана присоединен через запорный вентиль трубопровод 6П для сброса продувочных газов в атмосферу. Сбросной трубопровод располагается не менее чем на 1000 мм выше конька перекрытия. Аналогично к кислородо-

проводу присоединяется сбросной трубопровод 11П через запорный вентиль 13.

На входе кислородопровода в цех, так же как и на каждом ответвлении внутрицеховой разводки газопроводов, устанавливается запорная арматура.

В местах потребления газов на газопроводах пропана и кислорода установлены газообразные посты 5 и 12, в состав которых входят соответствующие запорные, регулирующие и предохранительные устройства, обеспечивающие нормальную работу огневой аппаратуры. Питание ее кислородом ведется от редуктора БКО (баллонного кислородного однокамерного) газообразного поста. Давление кислорода в газопроводе не может быть выше 1,6 МПа (16 кгс/см²).

К трубопроводу пропана присоединение инструмента (резака) осуществляется через предохранительное устройство – обратный клапан. При питании цеховых газопроводов для пропана от перепускных рампы давление в трубопроводе пропана не может превысить 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), поэтому применяют газоразборные посты с жидкостным или сухим затвором. Предохранительные постовые затворы должны соответствовать максимально возможному давлению в трубопроводе пропана и расходу газа аппаратурой.

Параметрическим отказом в данной системе будет являться понижение давления вследствие перелива либо недолива смеси пропана среднего давления или же повышение температуры, вызванное повышением температуры окружающей среды. «Дерево неисправностей» изображено на рисунке 2.12.

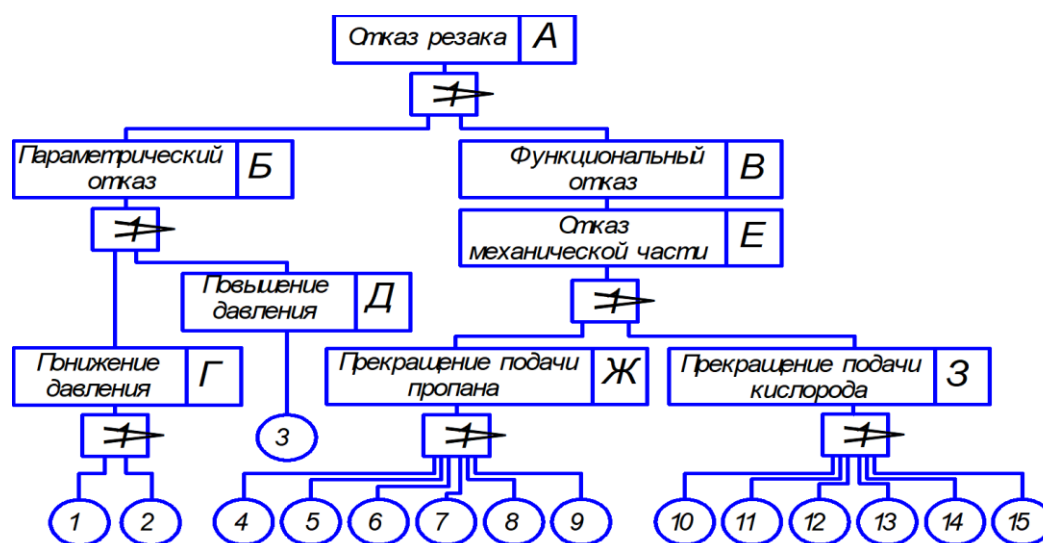


Рисунок 2.12 - «Дерево неисправностей» системы газоснабжения

Таблица 2.9 - Интенсивность отказов элементов системы газоснабжения

Позиция	Наименование отказа	Интенсивность отказов λ , ч ⁻¹
1	Недолив смеси	$2 \cdot 10^{-6}$
2	Перелив смеси	$2 \cdot 10^{-6}$
3	Повышение температуры	$1 \cdot 10^{-7}$
4	Отказ запорной арматуры	$1,65 \cdot 10^{-7}$
5	Отказ шкафа ввода пропана	$1,12 \cdot 10^{-6}$
6	Отказ поста газораспределительного	$1,1 \cdot 10^{-6}$
7	Отказ клапана обратного	$1 \cdot 10^{-7}$
8	Отказ клапана обратного огнепреградительного	$1,1 \cdot 10^{-6}$
9	Отказ трубопровода пропана	$3 \cdot 10^{-6}$
10	Отказ запорной арматуры	$1,65 \cdot 10^{-7}$
11	Отказ газификатора холодного криогенного ГХК-3/1,6	$1,12 \cdot 10^{-6}$
12	Отказ регулятора давления	$1 \cdot 10^{-8}$
13	Отказ дифференциального манометра	$2 \cdot 10^{-8}$
14	Отказ редуктора БКО	$1 \cdot 10^{-8}$
15	Отказ трубопровода кислорода	$3 \cdot 10^{-6}$

Для того чтобы определить вероятность отказа системы газоснабжения, необходимо определить вероятность безотказной работы каждого элемента данной системы.

Вероятность безотказной работы каждого элемента определяется по формуле

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) = \exp(-\lambda t),$$

где t – наработка до отказа i -го изделия.

Определяется вероятность безотказной работы элементов системы для $t = 10000$ ч и $t = 20000$ ч.

Для $t = 10000$ ч:

$$P_1 = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,98;$$

$$P_2 = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,98;$$

$$P_3 = e^{-1 \cdot 10^{-7} \cdot 10^4} = 0,999;$$

$$P_4 = e^{-1,65 \cdot 10^{-7} \cdot 10^4} = 0,998;$$

$$P_5 = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,989;$$

$$P_6 = e^{-1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,989;$$

$$P_7 = e^{-1 \cdot 10^{-7} \cdot 10^4} = 0,999;$$

$$P_8 = e^{-1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,989;$$

$$P_9 = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,97;$$

$$P_{10} = e^{-1,65 \cdot 10^{-7} \cdot 10^4} = 0,998;$$

$$P_{11} = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,989;$$

$$P_{12} = e^{-1 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4} = 0,9999;$$

$$P_{13} = e^{-2 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4} = 0,9998;$$

$$P_{14} = e^{-1 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4} = 0,9999;$$

$$P_{15} = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,97;$$

Для $t = 20000$ ч:

$$P_1 = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,96;$$

$$P_2 = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,96;$$

$$P_3 = e^{-2 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,998;$$

$$P_4 = e^{-1,65 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,997;$$

$$P_5 = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,978;$$

$$P_6 = e^{-1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,978;$$

$$P_7 = e^{-1 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,998;$$

$$P_8 = e^{-1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,978;$$

$$P_9 = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,942;$$

$$P_{10} = e^{-1,65 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,997;$$

$$P_{11} = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,978;$$

$$P_{12} = e^{-1 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,9998;$$

$$P_{13} = e^{-2 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,9996;$$

$$P_{14} = e^{-1 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,9998;$$

$$P_{15} = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,942;$$

Для $t = 10000$ ч:

Вероятность отказа подсистемы З:

$$Q_3 = 1 - P_{10} \cdot P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15};$$

$$Q_3 = 1 - 0,998 \cdot 0,989 \cdot 0,9999 \cdot 0,9998 \cdot 0,9999 \cdot 0,97 = 0,043;$$

$$P_3 = 1 - Q_3 = 0,957.$$

Вероятность отказа подсистемы Ж:

$$Q_{\text{Ж}} = 1 - P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8 \cdot P_9;$$

$$Q_{\text{Ж}} = 1 - 0,998 \cdot 0,989 \cdot 0,989 \cdot 0,999 \cdot 0,989 \cdot 0,97 = 0,064;$$

$$P_{\text{Ж}} = 1 - Q_{\text{Ж}} = 0,936.$$

Вероятность отказа подсистемы *E*:

$$Q_E = 1 - P_{\text{Ж}} \cdot P_3; Q_E = 1 - 0,936 \cdot 0,957 = 0,104.$$

Вероятность функционального отказа *B*:

$$Q_B = Q_E = 0,104; P_B = 1 - Q_B = 0,896.$$

Вероятность отказа подсистемы *Г*:

$$Q_G = 1 - P_1 \cdot P_2; Q_G = 1 - 0,98 \cdot 0,98 = 0,03; P_G = 1 - Q_G = 1 - 0,03 = 0,97.$$

Вероятность отказа подсистемы *Д*:

$$Q_D = Q_3 = 1 - P_3; Q_D = 1 - 0,999 = 0,001; P_D = 1 - Q_D = 1 - 0,001 = 0,999.$$

Вероятность отказа подсистемы *Б*:

$$Q_B = 1 - P_G \cdot P_D; Q_B = 1 - 0,97 \cdot 0,999 = 0,031; P_B = 1 - Q_B = 1 - 0,031 = 0,969.$$

Рассчитывается вероятность отказа резака, т. е. вероятность отказа системы газоснабжения *A*:

$$Q_A = 1 - P_B \cdot P_B; Q_A = 1 - 0,969 \cdot 0,896 = 0,13.$$

Для $t = 20000$ ч:

Вероятность отказа подсистемы *З*:

$$Q_3 = 1 - P_{10} \cdot P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15};$$

$$Q_3 = 1 - 0,997 \cdot 0,978 \cdot 0,9998 \cdot 0,9996 \cdot 0,9998 \cdot 0,942 = 0,082; P_3 = 1 - Q_3 = 0,917.$$

Вероятность отказа подсистемы *Ж*:

$$Q_{\text{Ж}} = 1 - P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8 \cdot P_9;$$

$$Q_{\text{Ж}} = 1 - 0,997 \cdot 0,978 \cdot 0,978 \cdot 0,998 \cdot 0,978 \cdot 0,942 = 0,123; P_{\text{Ж}} = 1 - Q_{\text{Ж}} = 0,876$$

Вероятность отказа подсистемы *E*:

$$Q_E = 1 - P_{\text{Ж}} \cdot P_3; Q_E = 1 - 0,876 \cdot 0,917 = 0,197.$$

Вероятность функционального отказа B :

$$Q_B = Q_E = 0,197; P_B = 1 - Q_B = 0,803.$$

Вероятность отказа подсистемы Γ :

$$Q_\Gamma = 1 - P_1 \cdot P_2; Q_\Gamma = 1 - 0,96 \cdot 0,96 = 0,078; P_\Gamma = 1 - Q_\Gamma = 1 - 0,078 = 0,922.$$

Вероятность отказа подсистемы Δ :

$$Q_\Delta = Q_3 = 1 - P_3; Q_\Delta = 1 - 0,998 = 0,002; P_\Delta = 1 - Q_\Delta = 1 - 0,002 = 0,998.$$

Вероятность отказа подсистемы B :

$$Q_B = 1 - P_\Gamma \cdot P_\Delta; Q_B = 1 - 0,922 \cdot 0,998 = 0,079; P_B = 1 - Q_B = 1 - 0,079 = 0,92.$$

Вероятность отказа системы A определяется по формуле

$$Q_A = 1 - \prod_{i=1}^n P_i; Q_A = 1 - P_B \cdot P_B; Q_A = 1 - 0,92 \cdot 0,803 = 0,26.$$

Все значения вероятности отказов системы сведены в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 - Значения вероятностей отказов системы

№ п/п	Событие	Значение	
		$T = 10000$ ч	$T = 20000$ ч
1	Прекращение подачи кислорода	0,043	0,082
2	Прекращение подачи пропана	0,064	0,123
3	Выход из строя механической части	0,104	0,197
4	Функциональный отказ	0,104	0,197
5	Понижение давления	0,03	0,078
6	Повышение давления	0,001	0,083
7	Параметрический отказ	0,031	0,079
8	Отказ резака	0,13	0,26

На основании анализа вероятности отказа системы газоснабжения на предприятии для наработок $T = 10000$ ч и $T = 20000$ ч делается вывод, что данная система надежна. Для наработки $T = 10000$ ч вероятность отказа меньше, чем для наработки $T = 20000$ ч.

Таблица 2.11 - Вероятность событий, приводящих к причинению ущерба здоровью электрогазосварщика

Позиция	Событие	Вероятность P
1	Прикосновение к токоведущим частям станка	$5 \cdot 10^{-5}$
2	Нарушение требований безопасности	$2 \cdot 10^{-4}$
3	Выполнение работ без сварочной маски	$2 \cdot 10^{-5}$
4	Неприменение СИЗ	$4 \cdot 10^{-5}$
5	Получение травм при выполнении сварочных работ	$3 \cdot 10^{-5}$
6	Получение травм при выполнении подготовительно-заключительных операций	$2 \cdot 10^{-4}$
7	Попадание раскаленных стружек на легковоспламеняющийся материал	$4 \cdot 10^{-5}$
8	Утечка газа из баллона	$3 \cdot 10^{-4}$
9	Попадание раскаленных капель металла и искр на открытые части тела	$2 \cdot 10^{-4}$
10	Соприкосновение с открытым пламенем	$2 \cdot 10^{-5}$
11	Превышение концентрации марганца и диоксида кремния (в сварочных аэрозолях) в воздухе рабочей зоны	$5 \cdot 10^{-4}$
12	Утечка газа из баллона	$3 \cdot 10^{-6}$
13	Возникновение взрывоопасной концентрации	$4 \cdot 10^{-5}$
14	Работа вблизи горючих веществ	$3 \cdot 10^{-4}$
15	Наличие источника огня	$5 \cdot 10^{-4}$

$$R_A = 1 - \prod_{i=B}^3 (1 - P_i) = 1 - (1 - P_B) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_\Gamma) \cdot (1 - P_\Delta) \times \\ \times (1 - P_E) \cdot (1 - P_{\mathcal{K}}) \cdot (1 - P_3);$$

$$P_B = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

$$P_B = P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4;$$

$$P_\Gamma = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6;$$

$$P_\Delta = P_7 + P_8 - P_7 \cdot P_8;$$

$$P_E = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10};$$

$$P_{\mathcal{K}} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12};$$

$$P_A = P_B + P_B - P_B \cdot P_B;$$

$$P_B = 5 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-4};$$

$$P_B = 2 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 8 \cdot 10^{-4};$$

$$P_\Gamma = 3 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 6 \cdot 10^{-4};$$

$$P_\Delta = 4 \cdot 10^{-5} + 3 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 3,4 \cdot 10^{-4};$$

$$P_E = 2 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 10^{-5};$$

$$P_{\mathcal{K}} = 5 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-4};$$

$$P_3 = 4 \cdot 10^{-5} + 3 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 4,3 \cdot 10^{-5};$$

$$R_A = 1 - (1 - 2,5 \cdot 10^{-4}) \cdot (1 - 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (1 - 6 \cdot 10^{-4}) \cdot (1 - 3,4 \cdot 10^{-4}) \times \\ \times (1 - 5 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 6 \cdot 10^{-12}) \cdot (1 - 4,3 \cdot 10^{-5}) = 2,08 \cdot 10^{-3}.$$

Риск причинения вреда здоровью $R_A = 2,08 \cdot 10^{-3}$ («дерево рисков» — на рис. 2.13)

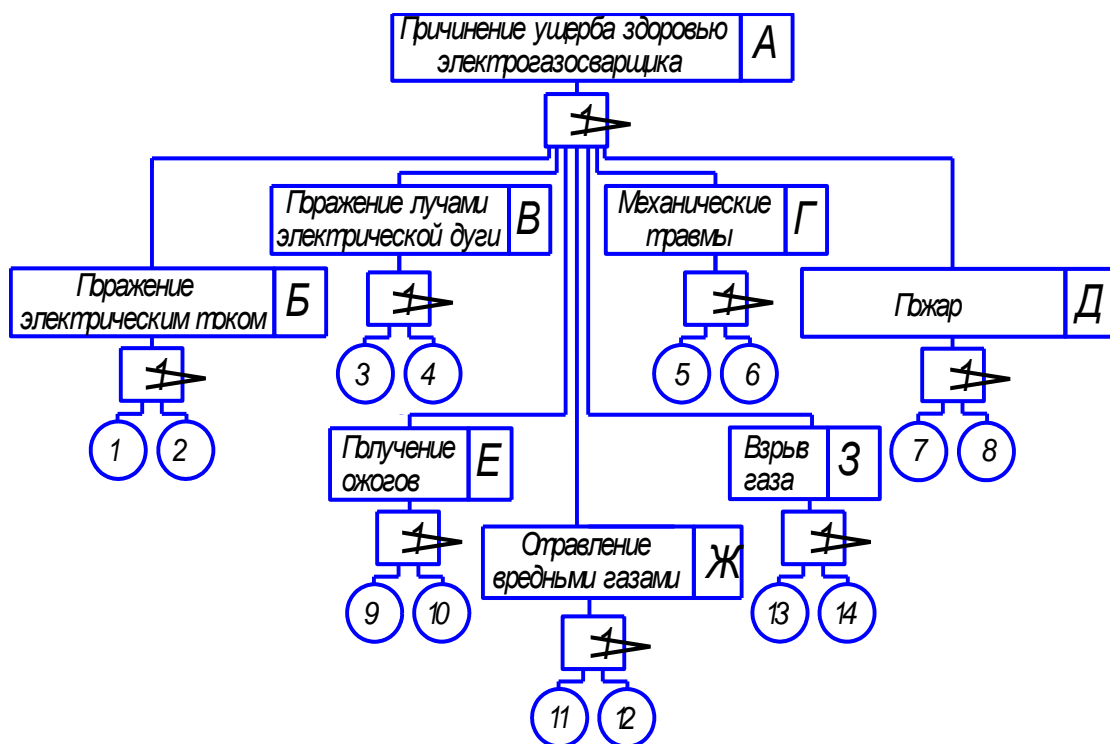


Рисунок 2.13 - «Дерево рисков» причинения вреда здоровью электрогазосварщика

Анализ надежности

Закон РФ «О безопасности» и Концепция национальной безопасности РФ определяют безопасность как состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз.

Важным вопросом является обеспечение безопасности при использовании различного оборудования (станки, агрегаты, машины и т. д.).

Определение безопасности оборудования достаточно сложный процесс. Существует множество способов, но наиболее часто используемым является метод «дерева неисправностей».

«Дерево неисправностей» – это топологическая модель надежности и безопасности, которая отражает логико-вероятностные взаимосвязи между отдельными случайными исходными событиями в виде первичных отказов или результирующих отказов, совокупность которых приводит к главному анализируемому событию [11].

Анализ «дерева неисправностей» связан с определением возможности появления или не появления головного события – происшествия конкретного типа. Данные условия устанавливаются путем выделения из всего массива исходных предпосылок двух подмножеств, реализация которых либо приводит, либо не приводит к возникновению головного события. Такие подмножества делятся:

– на *аварийные сочетания* – это определенный набор исходных событий.

Если все эти исходные события случаются, существует гарантия, что конечное событие происходит;

– *отсечные сочетания* – набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не возникновения ни одного из составляющих этот набор событий. Самым удобным способом выявления условий возникновения и предупреждения происшествий является выделение из таких подмножеств так называемых *минимальных сочетаний событий*, т. е. тех из них, появление которых минимально необходимо и достаточно для достижения желаемого результата.

Количественный анализ аварийности и травматизма с помощью структурных функций осуществляется в следующей последовательности:

– модель делится на отдельные блоки;

– в выбранных блоках выделяются подмножества событий, соединенных условиями «И» и «ИЛИ»;

– исходное «дерево» и соответствующая ему структурная функция упрощаются за счет их укрупнения;

– рассчитывается мера возможности возникновения происшествия.

При оценке числовых характеристик исследуемого «дерева неисправностей» руководствуются рядом *правил и допущений*.

1. События «дерева», соединенные логическим условием «И», объединяются по принципу их перемножения, при этом считается, что параметр головного события рассчитывается как произведение из n параметров предпосылок (сомножителей):

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i$$

2. События «дерева», соединенные логическим условием «ИЛИ», объединяются по принципу логического сложения, а их соответствующие параметры образуют следующую алгебраическую зависимость:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i),$$

которая в частных случаях, например, для $n = 2$ и $n = 3$, принимает вид:

$$P_{i=2} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

$$P_{i=3} = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_3 - P_2P_3 - P_3P_1 + P_1P_2P_3.$$

3. Преобразование и упрощение структурных функций осуществляется с соблюдением основных правил *булевой* алгебры. В соответствии с законом поглощения справедливы, например, следующие равенства:

$$A \cdot (A \cdot B) = A \cdot B;$$

$$A + (A \cdot B) = A.$$

4. При известных структурных схемах безотказности технических систем и безопасности функционирования они могут быть легко преобразованы в «дерево происшествий». При этом их параллельно соединенные элементы соответствуют логической операции «И», а последовательно соединенные – логической операции «ИЛИ».

При анализе методом «дерева неисправностей» выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возникновения аварийной ситуации и расчета ее вероятности (на основе задания значений вероятности исходных событий).

2.6. Анализ риска от усорезной пилы

Главное событие A – остановка станка; система B – отказ механической части, включает подсистемы: G (отказ возвратного механизма), D (отказ механизма поворота и высоты), E (отказ защитного кожуха), $Ж$ (разрушение полой цилиндрической стойки). Система B – отказ электрической части, состоит из подсистем: $З$ (отказ электродвигателя), $И$ (отказ токоведущих частей), $К$ (включение предохранительных устройств).

Производится расчет вероятности отказа системы. Интенсивность отказов для данного «дерева» представлена в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Интенсивность отказов элементов усорезной пилы

Позиция	Наименование отказа	Интенсивность отказов λ , ч ⁻¹
1	Разрушение режущего диска	$0,3 \cdot 10^{-4}$
2	Разрушение возвратной пружины	$1,1 \cdot 10^{-6}$
3	Заклинивание ролика возвратного механизма	$0,8 \cdot 10^{-5}$
4	Отказ фиксатора положения	$2,2 \cdot 10^{-5}$
5	Отказ фиксатора высоты	$2,2 \cdot 10^{-5}$
6	Отказ зубчатой передачи	$1,4 \cdot 10^{-5}$
7	Разрушение пружины	$1,1 \cdot 10^{-6}$
8	Отказ кожуха	$2,6 \cdot 10^{-6}$
9	Разрушение шарнира в системе рычагов	$0,025 \cdot 10^{-6}$
10	Разрушение крепления диска	$2,6 \cdot 10^{-6}$
11	Пробой изоляции в обмотке электродвигателя	$2,2 \cdot 10^{-6}$
12	Замыкание на корпус	$3 \cdot 10^{-7}$
13	Отказ концевого выключателя	$3 \cdot 10^{-5}$
14	Отказ теплового реле	$1,3 \cdot 10^{-5}$
15	Отказ предохранителя	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Сначала необходимо выявить вероятность безотказной работы каждого элемента в период гарантированного срока службы, которая определяется по формуле:

$$P_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) = \exp(-\lambda t).$$

Срок службы усорезной пилы составляет 3000 ч. С учетом неравномерности распределения отказов в разные периоды времени от начала эксплуатации до выработки ресурса станка t в расчетах принимается равным 300 ч (время между технологическим осмотром оборудования и текущим ремонтом).

Определение вероятности безотказной работы элементов:

$$P(1) = \exp(-0,3 \cdot 10^{-4} \cdot 300) = 0,991;$$

$$P(9) = \exp(-0,025 \cdot 10^{-6} \cdot 300) = 0,999;$$

$$P(2) = \exp(-0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,997;$$

$$P(10) = \exp(-0,025 \cdot 10^{-6} \cdot 300) = 0,999;$$

$$P(3) = \exp(-2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,993;$$

$$P(11) = \exp(-2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 300) = 0,999;$$

$$P(4) = \exp(-2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,993;$$

$$P(12) = \exp(-3 \cdot 10^{-7} \cdot 300) = 0,999;$$

$$P(5) = \exp(-1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,995;$$

$$P(13) = \exp(-3 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,991;$$

$$P(6) = \exp(-0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,997;$$

$$P(14) = \exp(-1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,996;$$

$$P(7) = \exp(-1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 300) = 0,997;$$

$$P(15) = \exp(-1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,994.$$

$$P(8) = \exp(-2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 300) = 0,999;$$

Составляются уравнения вероятностей отказов всех подсистем усорезной пилы:

$$Q(A) = 1 - P(B) \cdot P(B);$$

$$Q(B) = 1 - P(1) \cdot P(Г) \cdot P(Д) \cdot P(Е) \cdot P(Ж);$$

$$Q(B) = 1 - P(3) \cdot P(И);$$

$$Q(Г) = 1 - P(2) \cdot P(3);$$

$$Q(D) = 1 - P(4) \cdot P(5) \cdot P(6);$$

$$Q(E) = 1 - P(7) \cdot P(8);$$

$$Q(Ж) = 1 - P(9) \cdot P(10);$$

$$Q(З) = 1 - P(11) \cdot P(К);$$

$$Q(И) = 1 - P(12) \cdot P(13);$$

$$Q(К) = 1 - P(14) \cdot P(15).$$

Определяется вероятность отказа подсистем:

$$Q(К) = 1 - 0,996 \cdot 0,994 = 0,0006;$$

$$Q(И) = 1 - 0,999 \cdot 0,991 = 0,01;$$

$$Q(Ж) = 1 - 0,999 \cdot 0,999 = 0,002;$$

$$Q(E) = 1 - 0,997 \cdot 0,999 = 0,004;$$

$$Q(D) = 1 - 0,993 \cdot 0,995 \cdot 0,997 = 0,015;$$

$$Q(\Gamma) = 1 - 0,997 \cdot 0,993 = 0,01.$$

Определяются вероятности безотказной работы подсистем Г, Д, Е, Ж, К, И:

$$P(\Gamma) = 1 - 0,01 = 0,99;$$

$$P(D) = 1 - 0,015 = 0,985;$$

$$P(E) = 1 - 0,004 = 0,996;$$

$$P(Ж) = 1 - 0,002 = 0,998;$$

$$P(К) = 1 - 0,0006 = 0,9994;$$

$$P(И) = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Определяются вероятности отказов подсистем З, В, Б:

$$Q(З) = 1 - P(11) \cdot P(К) = 1 - 0,999 \cdot 0,9994 = 0,001;$$

$$Q(B) = 1 - P(3) \cdot P(И) = 1 - (1 - Q(З)) \cdot P(И) = 1 - (1 - 0,001) \cdot 0,99 = 0,01;$$

$$Q(Б) = 1 - P(1)P(\Gamma)P(D)P(E)P(Ж) = 1 - 0,991 \cdot 0,99 \cdot 0,985 \cdot 0,996 \cdot 0,998 = 0,039.$$

Определяется вероятность отказа системы А:

$$Q(A) = 1 - P(Б) \cdot P(B) = 1 - (1 - Q(Б))(1 - Q(B)) = 1 - (1 - 0,039)(1 - 0,01) = 0,04.$$

«Дерево неисправностей» показано на рисунке 2.14.

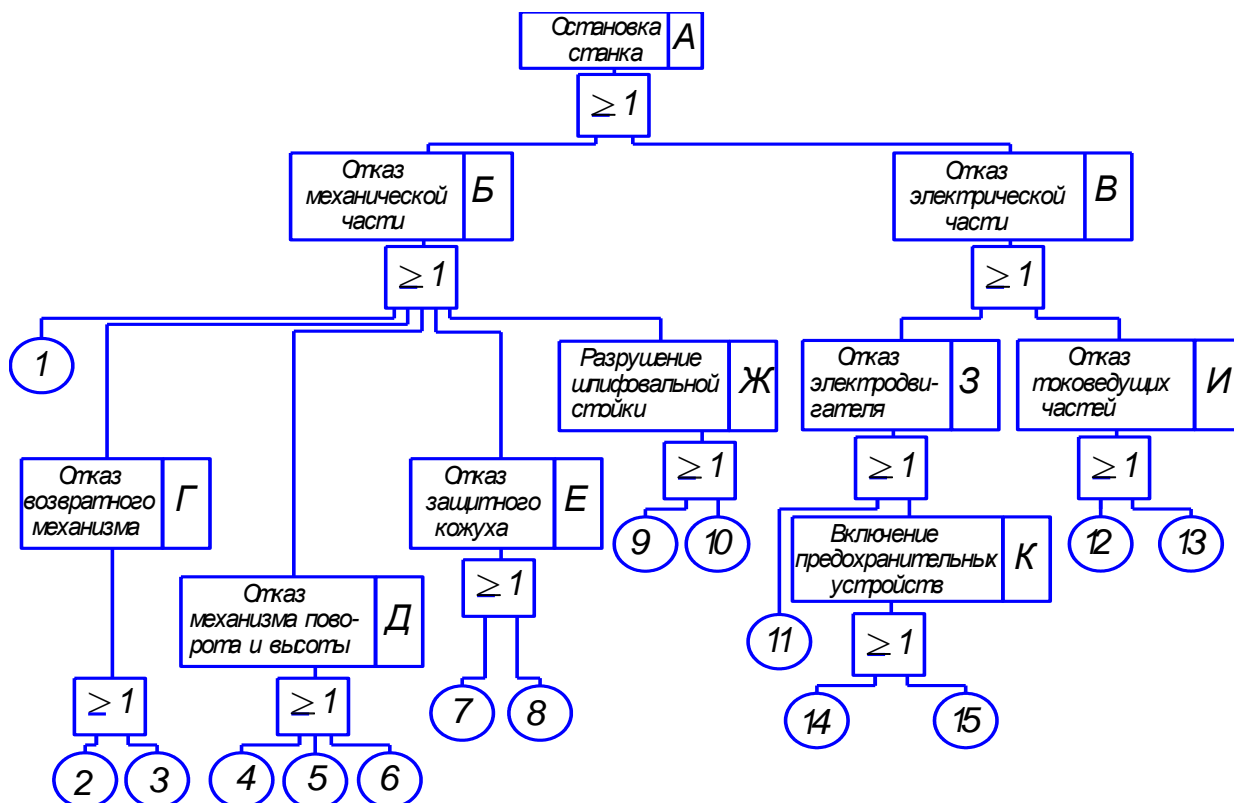


Рисунок 2.14 - «Дерево неисправностей» ускоренной пилы

Оценка безопасности по критерию риска включает в себя следующие этапы:

- определение полной группы событий риска и оценка соответствующих вероятностей их возникновения, с учетом человеческого фактора;
- вероятностная оценка каждого вида отказа критического элемента;
- оценка и суммирование рисков;
- сопоставление расчетных рисков с допустимыми или нормативными.

Целью оценки риска является устранение профессиональных рисков, что должно быть главной задачей, хотя этого не всегда удаётся достичь на практике. В случаях, когда невозможно устранить риск, необходимо уменьшить его объём, а оставшийся риск следует контролировать.

Технический риск (R) можно выразить формулой

$$R = Q \cdot p,$$

где Q – вероятность события; p – количество потерянных денег или жертв в результате одного нежелательного события.

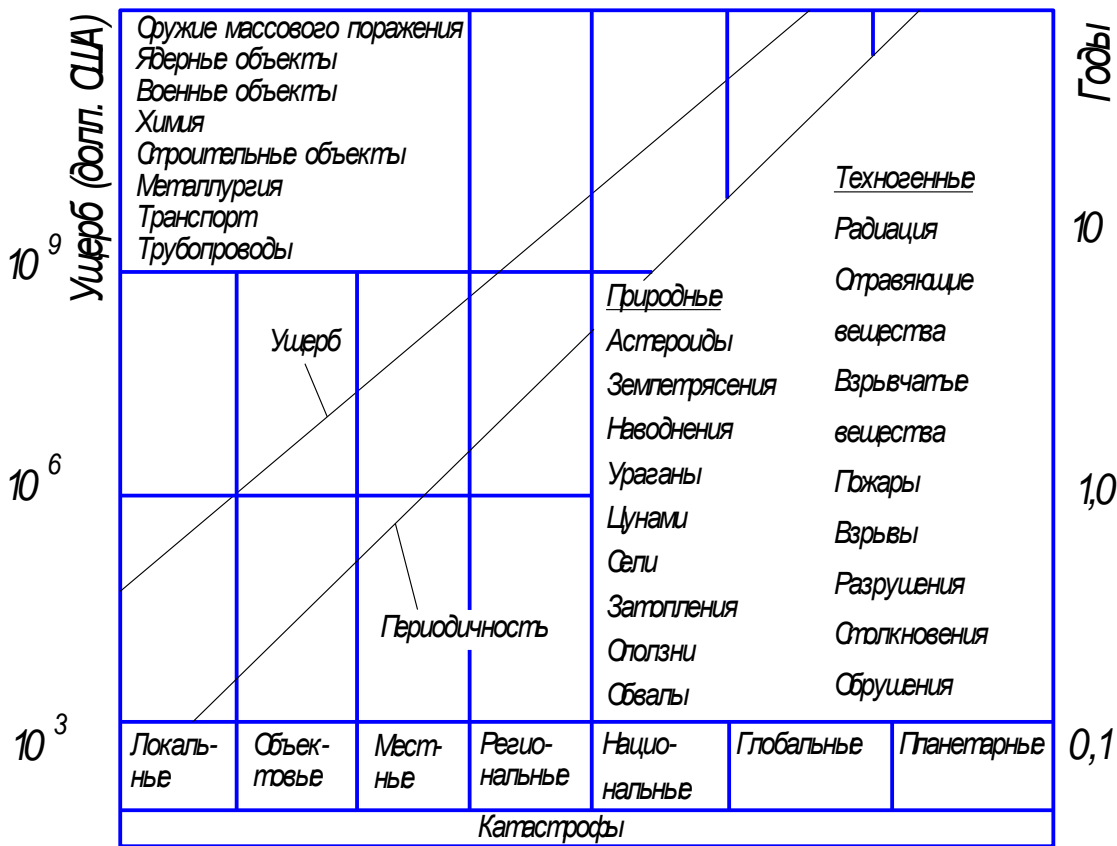


Рисунок 2.15 - Ущерб и периодичность техногенных аварий

Существует множество видов разделений профессиональной деятельности по классу профессионального риска, которые как учитывают вред от совершения события, так и унифицируют его.

В среднем в России в последние годы на одну национальную катастрофу приходится 5 региональных, около 100 местных и около 500 объектовых. Согласно рис. 2.15, совокупный ущерб от единичных аварий может составлять от $2 \cdot 10^8$ долл. США/год до $5 \cdot 10^5$ долл. США/год. В качестве допустимого уровня используется величина риска $R = 1 \cdot 10^3$ долл. США /год $\approx 33 \cdot 10^3$ руб./год.

В мае 2009 г. вступил в силу «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [12]. Согласно этому документу, пожарная безопасность объекта считается обеспеченной:

– если в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, установленные Техническим регламентом, и используются реко-

мендуемые положения нормативных документов по пожарной безопасности;

– пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных указанным выше регламентом или специальными техническими регламентами.

Анализ риска травмирования сборщика конструкций ПВХ производится методом построения «дерева рисков» (рис. 2.16).

Вероятность событий и ущерб от них представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 - Исходные данные для построения «дерева рисков»

№ п/п	Событие	Вероятность события	Кол-во дней нетрудоспособности	Экономический ущерб*, руб.
1	Пожар	$3 \cdot 10^{-8}$	–	60109
2	Ожог	0,05	1	40681
3	Вывихи и переломы	0,03	30	122043
4	Летальный исход	0,001	–	385230
5	Порезы	0,12	3	122043
6	Ушибы	0,11	1	40681
7	Бытовые травмы	0,02	1	40681

* Расчет экономического ущерба для предприятия произведен с учетом расходов, связанных с оплатой больничных листов.

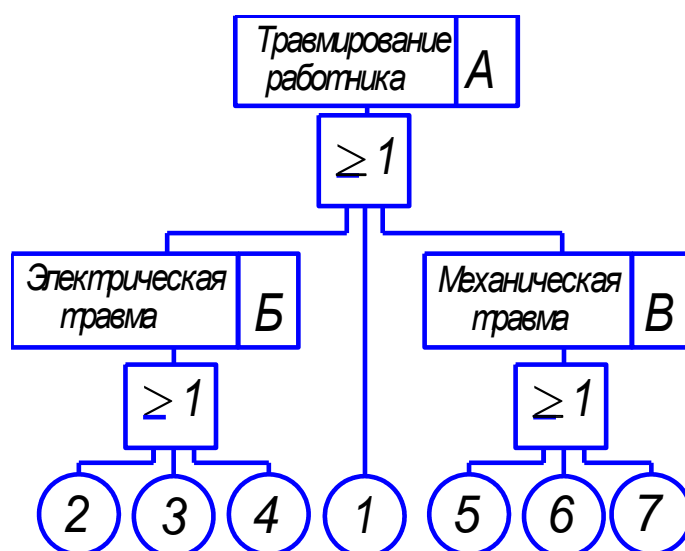


Рисунок 2.16 - «Дерево рисков» травмирования сборщика конструкций ПВХ

Рассчитывается риск травмирования в каждом из возможных случаев, в том числе и вследствие пожара.

В нашем случае на предприятии в полном объеме соблюдены требования пожарной безопасности (имеется система предотвращения пожара, система противопожарной защиты, система организационно-технических мероприятий), но, даже учитывая это, при рассмотрении риска травмирования работника исключать риск повреждения в результате пожара не следует.

Нормы риска от пожара, приведенные в [12], составляют для населения $1 \cdot 10^{-6}$, т. е. гибель не более одного человека на миллион при пожаре допустима; для предприятий с учетом их особенностей – $1 \cdot 10^{-4}$.

Вероятность пожара, связанного с замыканием токоведущих частей усовершенствованной пилы, реализуется при выполнении следующих условий: пробое изоляции, неисправных предохранительных устройствах, наличии в помещении легковоспламеняющихся веществ:

$$P(1) = 0,001 \cdot 0,001 \cdot 0,03 = 3 \cdot 10^{-8}.$$

Если не учитывать ущерб, причиняемый возможным пожаром, то можно увидеть, что данный риск значительно ниже предлагаемого Техническим регламентом значения ($1 \cdot 10^{-6}$).

Идентичные значения получаются при учете возможного ущерба:

$$R(1) = 0,00000003 \cdot 60109 = 0,0018 \text{ руб./год.};$$

Рассчитывается риск для остальных элементов системы:

$$R(2) = 0,05 \cdot 40681 = 2034,0 \text{ руб./год.};$$

$$R(3) = 0,03 \cdot 1220430 = 36612,9 \text{ руб./год.};$$

$$R(4) = 0,001 \cdot 385230 = 385,23 \text{ руб./год.};$$

$$R(5) = 0,12 \cdot 122043 = 14645,1 \text{ руб./год.};$$

$$R(6) = 0,12 \cdot 122043 = 14645,1 \text{ руб./год.};$$

$$R(7) = 0,02 \cdot 40681 = 813,6 \text{ руб./год.}$$

Видно, что за допустимый риск выходит лишь $R(2)$.

Вероятность травмирования работника:

$$P(B) = P(2) + P(3) + P(4) - P(2) \cdot P(3) - P(3) \cdot P(4) - P(4) \cdot P(2) + P(2) \cdot P(3) \cdot P(4);$$

$$P(B) = 0,07915;$$

$$P(B) = P(5) + P(6) + P(7) - P(5) \cdot P(6) - P(6) \cdot P(7) - P(7) \cdot P(5) + P(5) \cdot P(6) \cdot P(7);$$

$$P(B) = 0,23;$$

$$P(A) = P(B) + P(B) + P(1) - P(B) \cdot P(B) - P(B) \cdot P(1) - P(1) \cdot P(B) + P(B) \cdot P(B) \cdot P(1);$$

$$P(A) = 0,29;$$

Риск всей системы и ее составных частей:

$$P(B) = 0,07915 \cdot (122043 + 385230 + 40681) = 130307 - P(4) \cdot P(2) + P(2) \cdot P(3) \cdot P(4) \text{ руб./год};$$

$$P(B) = 0,23 \cdot (122043 + 40681 + 40681) = 46783 \text{ руб./год};$$

$$P(A) = 0,29 \cdot (1220430 + 385230 + 40681 + 122043 + 40681 + 40681 + 60109) = 235325 \text{ руб./год};$$

$$235325 > 30000;$$

$$R(A) > R_{дон}.$$

Разработан защитный кожух, который позволяет не только снизить уровень шума станка, но и исключить возможность получения механической травмы $R(B)$, в результате величина риска $R(A)$ снижается до уровня:

$$R(A') = P(1) + P(B) - P(1) \cdot P(B) = 0,079;$$

$$R(A) = 0,079 \cdot 366506 = 28954 \quad R(A) = 0,079 \cdot 366506 = 28954 \text{ руб./год}.$$

Снижение уровня риска:

$$\Delta R = R_{\text{начальное}} - R_{\text{достигнутое}} = 235325 - 28954 = 206371 \text{ руб./год.}$$

С учетом этого обстоятельства работа с ускоренной пилой станет безопасной: $28954 < 30000$; $R(A') < R_{\text{дон}}$.

При анализе риска без учета ущерба получается следующий результат:

$$R(A) = 0,079 > 0,01 - \text{работа с ускоренной пилой считается особо опасной.}$$

Разночтение в выводах обусловлено различием составляющих факторов:

- унифицируется ущерб: в расчетах идентичным принимается ущерб как от ожога, так и от перелома и т.д.;
- вероятность события значительно варьируется в зависимости от рассматриваемого периода времени. В данном случае $T = 2085$ ч (1 год).

2.7 Анализ риска от вальцов

Надежность машин и механизмов определяется вероятностью нарушения нормальной работы оборудования. Такого рода нарушения могут явиться причиной аварий, травм. Большое значение в обеспечении надежности имеет прочность конструктивных элементов. Конструкционная прочность машин и агрегатов определяется прочностными характеристиками как материала конструкции, так и его соединений (сварные швы, заклепки, штифты, шпонки, резьбовые соединения), а также условиями их эксплуатации (наличие смазочного материала, коррозия под действием окружающей среды, наличие чрезмерного изнашивания и т. д.).

Для обеспечения надежной работы машин и механизмов имеет немаловажное значение наличие необходимых контрольно-измерительных приборов и устройств автоматического управления и регулирования. При несрабатывании автоматики надежность работы технологического оборудования определяется эффективностью действий обслуживающего персонала.

Однако, согласно [1], основным моментом при анализе надежности является процесс управления риском, который охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и

определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий. Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы.

При оценке надежности большинства изделий в технике приходится рассматривать их как системы. Сложные системы делятся на подсистемы.

Системы с позиции надежности могут быть последовательными, параллельными и комбинированными.

Многие системы состоят из элементов, отказы каждого из которых можно рассматривать как независимые. Такой анализ достаточно широко применяется по отказам функционирования и иногда как первое приближение по параметрическим отказам.

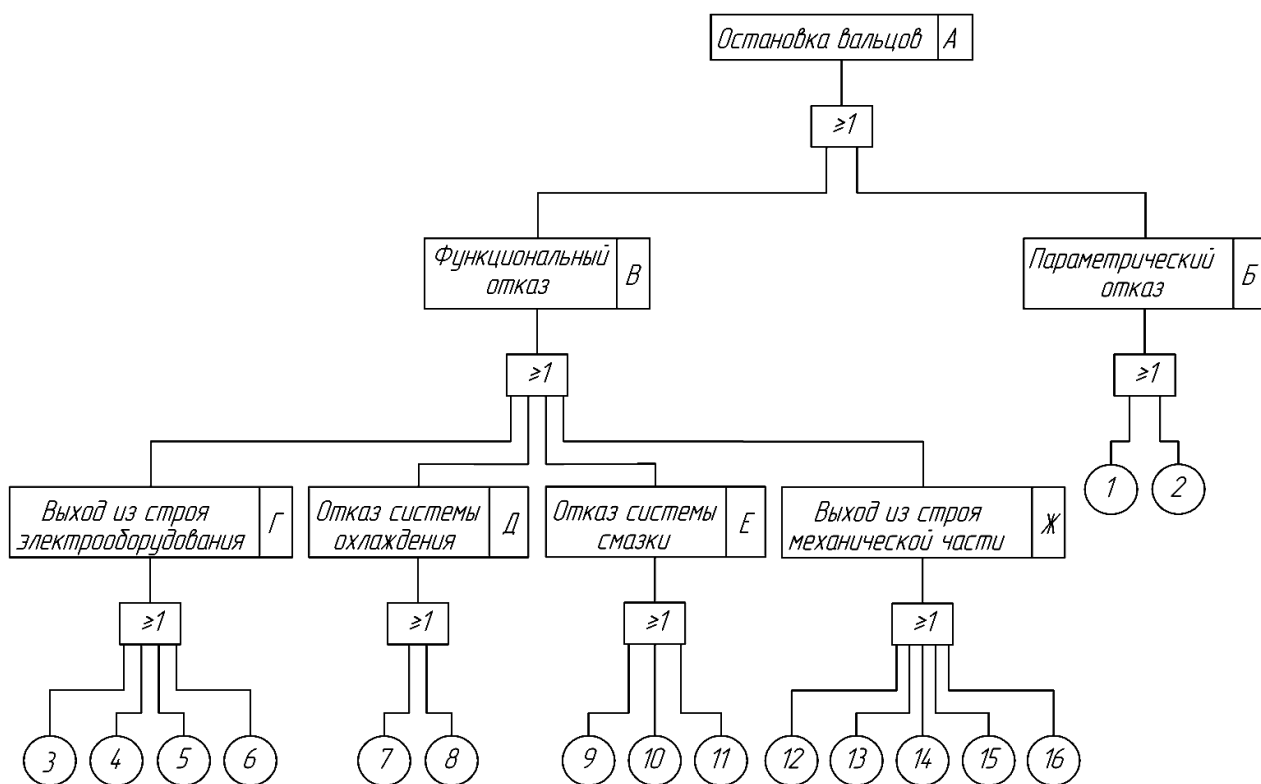
Системы могут включать элементы, изменение параметров которых определяет отказ системы в совокупности или даже влияет на работоспособность других элементов. К этой группе относятся большинство систем при точном рассмотрении их по параметрическим отказам.

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудовании применяется метод построения «дерева неисправностей». Строится «дерево неисправностей» (рис. 2.17) для оборудования – вальцов. Оборудование рассматривается в период нормальной эксплуатации, т. е. при $\lambda = \text{const}$. Данные по интенсивности отказов приведены в таблице 2.14.

Отказ станка может произойти из-за функционального отказа, явившегося следствием внезапных отказов блоков, узлов, деталей, или из-за параметрического, который может произойти в трех случаях:

- низкий уровень охлаждающей жидкости ведет к перегреву оборудования и, как следствие, к выходу его из строя;
- недостаточное давление охлаждающей жидкости ведет к перегреву оборудования;

– изменение давления в сторону увеличения может привести к отказу фланцев, клапанов, в результате чего может произойти истечение охлаждающей жидкости и перегрев оборудования.



А – остановка вальцов; Б – параметрический отказ; В – функциональный отказ; Г – отказ электрооборудования; Д – отказ системы охлаждения; Е – отказ системы смазки; Ж – отказ механической части;

1 – низкий уровень охлаждающей жидкости; 2 – изменение давления охлаждающей жидкости; 3 – отказ электродвигателя; 4 – короткое замыкание кабеля на землю; 5 – отказ предохранителя; 6 – короткое замыкание на корпус; 7 – отказ насоса; 8 – потеря герметичности системы охлаждения; 9 – отказ насоса; 10 – отказ питателя; 11 – потеря герметичности системы смазки; 12 – отказ муфты главного привода; 13 – отказ зубчатых колес коробки скоростей; 14 – отказ редуктора механизма раздвижения; 15 – отказ тормоза; 16 – износ ножей

Рисунок 2.17 - «Дерево неисправностей» вальцов

Таблица 2.14 - Интенсивность отказов

Позиция	Наименование отказа	Интенсивность отказов λ , ч ⁻¹
1	Низкий уровень охлаждающей жидкости	$1,6 \cdot 10^{-7}$
2	Изменение давления охлаждающей жидкости	$2,3 \cdot 10^{-7}$
3	Отказ электродвигателя	$3,1 \cdot 10^{-6}$
4	Короткое замыкание кабеля на землю	$3 \cdot 10^{-7}$
5	Отказ предохранителя	$1,1 \cdot 10^{-5}$
6	Короткое замыкание на корпус	$3 \cdot 10^{-7}$
7	Отказ насоса системы охлаждения	$1,12 \cdot 10^{-6}$
8	Потеря герметичности системы охлаждения	$3 \cdot 10^{-6}$
9	Отказ насоса системы смазки	$1,12 \cdot 10^{-6}$
10	Отказ питателя	$2,2 \cdot 10^{-6}$
11	Потеря герметичности системы смазки	$3 \cdot 10^{-6}$
12	Отказ муфты главного привода	$2 \cdot 10^{-8}$
13	Отказ зубчатых колес коробки скоростей	$2 \cdot 10^{-9}$
14	Отказ редуктора механизма раздвижения	$1,3 \cdot 10^{-9}$
15	Отказ тормоза	$3 \cdot 10^{-6}$
16	Износ ножей	$2 \cdot 10^{-6}$

Решение:

$$P(\tau) = \exp\left(-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt\right) = \exp(-\lambda\tau)$$

$$P_1 = e^{-1,6 \cdot 10^{-7} \cdot 15000} = 0,997; \quad P_9 = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,983;$$

$$P_2 = e^{-2,3 \cdot 10^{-7} \cdot 15000} = 0,996; \quad P_{10} = e^{-2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,967;$$

$$P_3 = e^{-3,1 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,95; \quad P_{11} = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,956;$$

$$P_4 = e^{-3 \cdot 10^{-7} \cdot 15000} = 0,995; \quad P_{12} = e^{-2 \cdot 10^{-8} \cdot 15000} = 0,9997;$$

$$P_5 = e^{-1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 15000} = 0,847; \quad P_{13} = e^{-2 \cdot 10^{-9} \cdot 15000} = 0,9999;$$

$$P_6 = e^{-3 \cdot 10^{-7} \cdot 15000} = 0,995; \quad P_{14} = e^{-1,3 \cdot 10^{-9} \cdot 15000} = 0,9999;$$

$$P_7 = e^{-1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,983; \quad P_{15} = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,956;$$

$$P_8 = e^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,956; \quad P_{16} = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,97.$$

Найти вероятности отказа и безотказной работы каждой из подсистем:

$$Q_{\Gamma} = 1 - P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 = 1 - 0,95 \cdot 0,995 \cdot 0,847 \cdot 0,995 = 0,2;$$

$$P_{\Gamma} = 1 - Q_{\Gamma} = 1 - 0,2 = 0,8;$$

$$Q_{\Delta} = 1 - P_7 \cdot P_8 = 1 - 0,983 \cdot 0,956 = 0,06;$$

$$P_{\Delta} = 1 - Q_{\Delta} = 1 - 0,06 = 0,94;$$

$$Q_E = 1 - P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11} = 1 - 0,983 \cdot 0,967 \cdot 0,956 = 0,09;$$

$$P_E = 1 - Q_E = 1 - 0,09 = 0,91;$$

$$Q_{\mathcal{K}} = 1 - P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15} = 1 - 0,9997 \cdot 0,9999 \cdot 0,9999 \cdot 0,956 = 0,044;$$

$$P_{\mathcal{K}} = 1 - Q_{\mathcal{K}} = 1 - 0,044 = 0,956;$$

$$Q_B = 1 - P_G \cdot P_D \cdot P_E \cdot P_{Ж} = 1 - 0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,91 \cdot 0,956 = 0,345;$$

$$P_B = 1 - Q_B = 0,655;$$

$$Q_B - 1 - P_1 \cdot P_2 = 1 - 0,997 \cdot 0,996 = 0,007;$$

$$P_B = 1 - Q_B = 0,993.$$

Вероятность отказа валцов равна:

$$Q_A = 1 - P \cdot P_B = 1 - 0,993 \cdot 0,655 = 0,65.$$

Целью оценки риска является устранение профессиональных рисков. С учетом того, что цель является практически недостижимой, усилия направляют на уменьшение и обеспечение контролируемости оставшегося риска. Прodelывая данную последовательность действий многократно и применяя накопленный опыт, риск уменьшают или устраняют.

Оценку риска необходимо организовывать и применять для того, чтобы помочь работодателям или персонам, контролирующим производимую работу:

- определить угрозы, имеющиеся в рабочем процессе, и оценить связанные с ними риски, чтобы, соблюдая требования действующего законодательства, определить, какие мероприятия необходимо осуществить для обеспечения безопасности и сохранности здоровья работников и других лиц;

- оценить риск, чтобы, основываясь на полученной информации, правильно организовать работу, выбрать необходимые для работы оборудование, химические вещества, материалы и т. п.;

- проверить, адекватны ли осуществляемые мероприятия по охране труда;

- определить приоритеты деятельности, если в результате оценки была установлена необходимость в дальнейших мероприятиях;

- показать работникам и их представителям, что все факторы, связанные

с работой, учтены, а также приняты все необходимые меры для организации безопасного труда;

– обеспечить улучшение здоровья и повышение уровня безопасности работающих при помощи превентивных мероприятий, методов и приёмов работы, которые были признаны необходимыми и внедрены после проведения оценки рисков.

Для абсолютной оценки опасности технологических процессов и операций, в соответствии с принятой практикой, можно рекомендовать следующую классификацию травмоопасности согласно таблицы 2.15.

Таблица 2.15 - Классификация условий труда при профессиональной деятельности

Класс	Условия профессиональной деятельности	Риск*	Риск**
I	Безопасные (оптимальные)	$< 0,7$	$< 10^{-4}$
II	Относительно безопасные (допустимые)	$0,7-0,8$	$10^{-4}-10^{-3}$
III	Опасные	$> 0,8$	$> 10^{-3}$

* В соответствии с методом полуколичественной оценки риска [9].

** В соответствии с методом, основанным на анализе статистических данных [12].

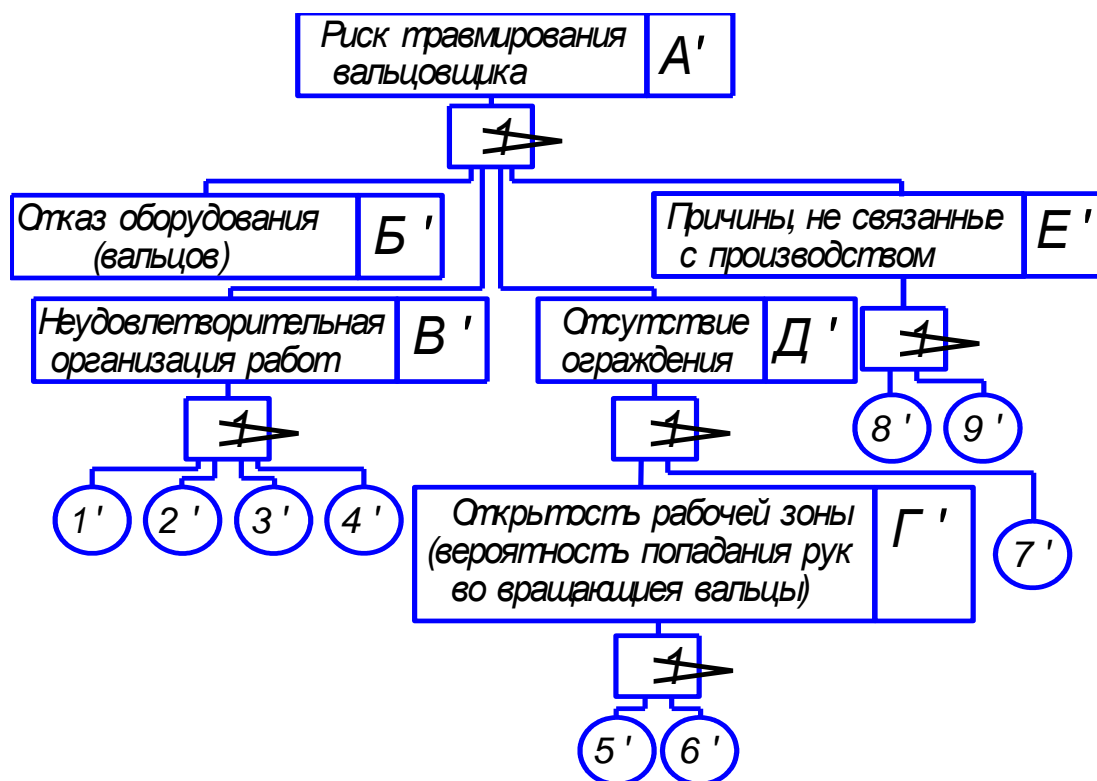
Математически риск (R) можно выразить формулой

$$R = Q \cdot p,$$

где Q – вероятность происшествия; p – тяжесть события.

Тяжесть события (p) определялась исходя из анализа журнала регистрации несчастных случаев и актов формы Н-1.

Основная проблема при оценке профессионального риска – отсутствие единой методики, которая была бы доступна инженеру и при этом давала бы реальный результат. В данном примере анализ риска травмирования вальцовщика производится методом построения «дерева рисков» (рис. 2.18).



A' – риск травмирования вальцовщика; B' – отказ оборудования (вальцов); V' – неудовлетворительная организация работ; Γ' – открытость рабочей зоны (вероятность затягивания рук работающего во вращающиеся вальцы); D' – отсутствие ограждения; E' – причины, не связанные с производством; $1'$ – нарушение требований безопасности и охраны труда; $2'$ – недостатки в обучении безопасным приемам работы; $3'$ – несовершенство эргономики; $4'$ – несоответствие условий труда требованиям охраны труда (например, недостаточное освещение); $5'$ – клейкость используемого материала; $6'$ – использование ручного режущего инструмента; $7'$ – отсутствие ограждения на механизмах, использование которых сопряжено с работой на вальцах; $8'$ – резкое ухудшение состояния здоровья работающего; $9'$ – чрезвычайные ситуации

Рисунок 2.18 - «Дерево рисков» причинения ущерба здоровью вальцовщика резиновых смесей:

Для оценки величины риска травмирования вальцовщика использован метод полуколичественной оценки риска по девятибалльной системе (табл. 2.18).

Таблица 2.16 - Полуколичественная оценка риска по девятибалльной системе

Вероятность Q	Степень тяжести p
9 – почти обязательно	9 – смерть
8 – очень возможно	8 – инвалидность 1-й группы
7 – возможно	7 – инвалидность 2-й группы
6 – больше чем случайность	6 – инвалидность 3-й группы
5 – случайность	5 – потеря работоспособности более чем на 4 недели
4 – меньше чем случайность	4 – потеря работоспособности менее чем на 4 недели
3 – маловероятно	3 – потеря работоспособности до 4 дней
2 – очень маловероятно	2 – небольшие ранения
1 – практически невозможно	1 – ранений нет

Максимальное количество баллов, которое можно получить при расчете риска по этому методу, – 81, поэтому полученные значения переводятся в проценты исходя из пропорции 81 балл = 100 %.

Решение:

$$R = Q \cdot p.$$

Найти риск травмирования в каждом случае:

$$R(B') = 2 \cdot 5 = 10 \text{ баллов} = 12,3 \% = 0,123;$$

$$R(1') = 8 \cdot 5 = 40 \text{ баллов} = 49,4 \% = 0,494;$$

$$R(2') = 7 \cdot 6 = 42 \text{ балла} = 51,9 \% = 0,519;$$

$$R(3') = 7 \cdot 4 = 28 \text{ баллов} = 34,6 \% = 0,346;$$

$$R(4') = 8 \cdot 7 = 56 \text{ баллов} = 69,1 \% = 0,691;$$

$$R(5') = 8 \cdot 5 = 40 \text{ баллов} = 49,4 \% = 0,494;$$

$$R(6') = 8 \cdot 5 = 40 \text{ баллов} = 49,4 \% = 0,494;$$

$$R(7') = 5 \cdot 5 = 25 \text{ баллов} = 30,9 \% = 0,309;$$

$$R(8') = 3 \cdot 7 = 21 \text{ балл} = 25,9 \% = 0,259;$$

$$R(9') = 2 \cdot 9 = 18 \text{ баллов} = 22,2 \% = 0,222.$$

$$R = \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Определить риск травмирования в каждой подсистеме до внедрения мероприятий по улучшению условий труда на рабочем месте вальцовщика резиновых смесей:

$$R(B') = (1 - R(1')) \cdot (1 - R(2')) \cdot (1 - R(3')) \cdot (1 - R(4')) =$$

$$= (1 - 0,494) \cdot (1 - 0,519) \cdot (1 - 0,346) \cdot (1 - 0,691) = 0,05;$$

$$R(\Gamma') = (1 - R(5')) \cdot (1 - R(6')) = (1 - 0,494) \cdot (1 - 0,494) = 0,26;$$

$$R(D') = (1 - R(\Gamma')) \cdot (1 - R(7')) = (1 - 0,26) \cdot (1 - 0,309) = 0,51;$$

$$R(E') = (1 - R(8')) \cdot (1 - R(9')) = (1 - 0,259) \cdot (1 - 0,222) = 0,59;$$

$$R(A') = (1 - R(B')) \cdot (1 - R(\Gamma')) \cdot (1 - R(D')) \cdot (1 - R(E')) =$$

$$= (1 - 0,123) \cdot (1 - 0,05) \cdot (1 - 0,51) \cdot (1 - 0,59) = 0,17.$$

После внедрения мероприятий по улучшению условий труда на рабочем месте вальцовщика резиновых смесей исключаются следующие причины травмирования:

2' – недостатки в обучении безопасным приемам работы;

3' – несовершенство эргономики;

4' – несоответствие условий труда требованиям охраны труда (например, недостаточное освещение);

б' – использование ручного режущего инструмента.

Следовательно, риск травмирования изменится:

$$R(B') = 1 - R(I') = 1 - 0,494 = 0,506;$$

$$R(\Gamma') = 1 - R(5') = 1 - 0,494 = 0,506;$$

$$R(D') = (1 - R(\Gamma')) \cdot (1 - R(7')) = (1 - 0,506) \cdot (1 - 0,309) = 0,34;$$

$$R(E') = (1 - R(8')) \cdot (1 - R(9')) = (1 - 0,259) \cdot (1 - 0,222) = 0,59;$$

$$\begin{aligned} R(A') &= (1 - R(B')) \cdot (1 - R(B')) \cdot (1 - R(D')) \cdot (1 - R(E')) = \\ &= (1 - 0,123) \cdot (1 - 0,506) \cdot (1 - 0,34) \cdot (1 - 0,59) = 0,12. \end{aligned}$$

Был произведен расчет надежности методом «дерева неисправностей» для вальцов, а также расчет риска травмирования работающего методом построения «дерева рисков». Как показали расчеты, система достаточно надежна. Риск при работе на вальцах резиносмесительных составляет $R = 0,17$. Однако после внедрения мероприятий по улучшению условий труда на рабочем месте вальцовщика резиновых смесей он уменьшился до $R = 0,12$, что позволяет отнести условия профессиональной деятельности к I классу – безопасные ($R < 0,7$ [9] или $R < 10^{-4}$ [12]).

3 Задание к курсовой работе

1. Выбрать и описать техническую систему.

2. Индивидуальное задание по вариантам.

Вариант	Интенсивность отказов ($\lambda \cdot 10^{-6}$)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2,2	1,5	2,9	4,5	3,4	3,7	1,2	4,8	4,0	4,1	3,6	1,2	2,5	1,5	4,1
2	2,7	1,3	4,6	1,1	2,0	4,5	2,5	4,7	2,2	2,2	1,8	3,1	2,0	1,1	4,8
3	1,3	2,6	1,6	4,2	3,9	2,6	3,0	2,9	2,8	2,9	1,3	4,9	1,8	3,0	4,8
4	1,9	1,7	1,0	4,5	2,0	4,6	3,1	3,5	1,1	2,0	4,9	3,0	1,3	4,5	4,1
5	1,6	2,7	3,9	3,7	3,7	3,9	3,2	2,0	2,1	4,8	4,3	4,6	2,8	4,1	4,6
6	1,7	3,4	1,1	4,1	2,2	4,8	4,3	1,4	1,3	2,4	2,5	1,8	1,4	2,6	1,3
7	3,1	1,2	3,9	1,1	3,3	2,7	1,2	3,3	3,9	3,0	1,8	1,5	4,2	1,2	4,7
8	1,7	4,7	1,5	4,4	4,5	3,3	2,7	2,2	2,9	2,3	4,7	4,3	1,9	1,6	1,5
9	3,9	4,1	3,9	5,0	2,1	1,3	3,8	1,5	3,3	4,9	1,2	1,6	1,8	3,5	1,3
10	3,9	3,6	1,3	1,9	2,5	1,7	2,5	4,1	4,6	3,3	1,5	4,1	1,6	3,1	2,5
11	3,2	1,6	2,1	2,4	4,7	3,2	1,4	3,8	1,6	1,7	3,5	1,1	1,8	3,5	2,3
12	4,4	4,5	1,3	3,8	4,0	3,1	2,9	1,5	2,5	4,2	2,4	1,4	2,2	4,3	1,2
13	2,4	2,5	2,8	1,8	4,1	2,6	4,0	4,7	4,3	4,1	2,5	2,9	2,9	3,4	3,7
14	4,6	4,9	2,6	1,7	2,3	4,8	3,3	4,5	3,2	4,1	3,9	2,4	1,5	4,9	3,2
15	3,8	2,5	4,0	4,3	3,4	1,3	1,4	2,3	2,6	1,1	2,5	1,8	3,3	3,5	3,8
16	2,8	3,8	3,2	3,1	2,9	1,4	1,0	1,1	4,1	3,2	3,2	3,0	3,9	4,4	1,4
17	5,0	2,2	3,4	2,7	2,2	3,8	3,8	1,8	4,4	4,9	2,4	4,5	4,7	4,8	3,2
18	4,7	4,2	4,2	3,8	4,8	2,8	2,7	4,9	3,6	2,8	4,1	1,4	3,0	3,8	2,4
19	3,6	4,5	4,0	1,3	2,3	1,0	1,1	4,2	3,4	2,7	4,3	4,5	1,7	4,5	2,2
20	3,3	3,9	2,7	3,0	1,2	2,3	1,4	3,8	3,3	2,8	2,1	3,7	1,4	4,3	3,5
21	4,0	4,9	1,5	2,3	5,0	1,2	3,3	2,7	2,9	3,3	4,1	1,6	3,8	1,4	4,1
22	4,4	4,5	3,8	2,5	3,4	5,0	3,7	4,6	4,4	3,4	2,6	4,3	4,8	2,5	1,0
23	3,3	3,8	1,6	3,1	2,4	4,1	1,5	2,6	4,9	1,3	2,6	4,4	1,4	2,2	3,0
24	1,1	3,5	3,0	3,4	4,1	1,5	1,6	3,8	3,6	4,5	3,5	2,8	3,9	1,7	1,2
25	2,8	3,5	1,2	2,7	1,6	3,9	1,2	2,5	4,4	2,4	2,5	2,1	1,5	2,7	3,2
26	4,2	3,4	1,0	2,3	1,5	3,2	3,7	3,2	1,4	2,8	2,8	2,1	1,9	3,5	4,8
27	4,5	4,6	4,3	1,4	1,2	1,7	4,1	4,5	4,0	2,0	3,3	2,2	2,8	4,5	2,1
28	2,7	4,7	3,5	4,1	4,2	2,3	3,3	4,0	3,5	5,0	2,8	3,7	2,2	1,5	4,1
29	3,4	1,9	4,3	1,1	1,7	1,1	1,4	3,0	4,6	1,6	1,6	4,5	2,4	2,3	4,1
30	3,5	1,8	3,5	3,8	3,9	3,7	4,6	2,2	4,4	3,4	3,7	4,8	2,2	1,4	4,8

Вариант	Вероятность событий ($P(t) \cdot 10^{-4}$)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,0	2,5	3,7	3,0	3,9	1,2	3,7	4,2
2	1,7	1,5	4,3	4,3	2,1	1,0	4,6	4,2
3	3,8	3,8	2,8	1,2	1,9	1,4	4,3	4,2
4	3,4	3,2	1,7	5,0	3,4	2,9	4,6	4,7
5	1,7	3,6	2,1	1,6	2,4	2,4	2,0	2,8
6	2,9	4,9	3,0	4,0	1,9	2,6	2,8	3,3
7	2,8	3,6	2,5	2,9	1,1	3,9	1,6	3,6
8	3,3	3,0	3,4	2,2	4,9	4,1	2,8	1,6
9	2,3	2,3	1,2	2,8	2,8	3,8	3,4	2,1
10	1,5	2,1	3,6	1,8	2,4	4,2	4,4	3,2
11	4,0	3,8	1,6	2,1	3,7	4,3	2,1	4,5
12	4,6	2,2	4,0	3,5	2,0	4,0	2,3	4,9
13	1,5	2,8	2,1	2,2	4,0	2,6	4,9	1,8
14	4,5	2,7	1,3	4,7	2,5	4,5	4,2	3,8
15	4,4	4,6	1,1	2,9	1,2	1,1	3,4	1,6
16	4,6	1,7	4,0	2,2	4,2	3,0	4,7	3,7
17	4,6	4,5	3,9	3,2	2,7	4,0	4,2	2,5
18	4,6	4,1	4,3	4,6	4,3	4,7	1,5	3,1
19	4,3	3,7	2,5	3,4	2,2	1,7	2,7	1,6
20	2,1	3,6	4,5	4,8	1,9	1,4	4,7	4,7
21	4,6	1,3	1,5	4,6	2,4	3,4	4,9	1,7
22	2,6	5,0	2,0	1,7	4,8	3,9	2,6	1,4
23	3,8	4,9	3,7	2,7	2,5	3,4	4,2	1,8
24	1,9	2,1	1,2	3,8	2,5	1,4	4,9	3,8
25	3,4	4,1	1,5	1,2	4,5	2,4	3,7	4,8
26	3,7	2,6	4,6	3,4	3,9	3,6	3,0	2,0
27	1,9	4,0	1,2	2,8	1,0	3,8	4,2	2,4
28	1,4	1,1	2,4	4,6	4,2	1,5	4,8	1,4
29	3,3	2,4	3,3	1,6	4,3	4,5	1,4	1,9
30	3,2	4,7	3,7	2,7	3,3	4,3	4,9	1,4

Список литературы

1. Алымов В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: учебное пособие для вузов. М.: Академкнига, 2005. 118 с.
2. Ветошкин А.Г., Марунин В.И. Надежность и безопасность технических систем. Пенза: ПГУ, 2002. 103 с.
3. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., испр. М.: Академия, 2008. 368 с.
4. Гомзиков Э.А. Оценка вероятности возникновения опасных ситуаций: метод. указания. СПб.: С.-Петербург. РГУВК, 1999. 15 с.
5. ГОСТ Р 51901.13–2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. М.: Стандартиформ, 2005. 16 с.
6. Корчагин А.Б., Сердюк В.С., Бокарев А.И. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие. В 2 ч. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.
7. Нор Е.В. Надёжность технических систем и техногенный риск. Ухта: УГТУ, 2006. 15 с.
8. РД 26-01-143-83. Надежность изделий химического машиностроения. Оценка надежности и эффективности при проектировании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.skonline.ru/doc/7966.html>.
9. Сердюк В.С. Корчагин А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск: конспект лекций. Омск: ОмГТУ, 2007. 86 с.
10. Сердюк В.С., Корчагин А.Б., Нинилина М.Г. Надёжность технических систем и техногенный риск: метод. указания к выполнению практ. работ / сост.: В.С. Сердюк. Омск: ОмГТУ, 2007. 20 с.
11. Половко А.М. Сборник задач по теории надёжности. М.: Сов. радио, 1972. 408 с.
12. Чулков Н.А., Деренок А.Н. Надёжность технических систем и техногенный риск. Томск: Томский политехнический университет, 2012. 150 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Министерство сельского хозяйства РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Брянский государственный аграрный университет»

Инженерно-технологический институт

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Надёжность технических систем и техногенный риск»
на тему: «Анализ и расчет надёжности технической системы»

Выполнил:

студент группы И-_____

Принял:

Дата сдачи курсовой работы

(дата, подпись сдавшего КР)

Дата защиты курсовой работы

(дата, подпись принимающего)

Результат защиты

Брянская область

20_____

Приложение Б

Листы для оформления пояснительной записки

					КРНТСuTP. ??? 000. 000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		1

Листы для оформления графического материала

					<i>КРНТСuTP. ??? 000. 000</i>			
						<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ф.И.О.</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Ф.И.О.</i>						
<i>Т. Контр.</i>								
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Ф.И.О.</i>						
					<i>Лис 1</i>		<i>Листов 1</i>	
					<i>Анализ и расчет надёжности технической системы и техногенного риска</i>		БГАУ ИТИ	

Учебное издание

Панова Татьяна Васильевна

Панов Максим Владимирович

**Анализ и расчет
надёжности технической системы
и техногенного риска**

Учебное пособие для выполнения курсовой работы
бакалаврами, обучающимися по направлению
подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 26.11.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,35. Тираж 100 экз. Изд. №6770.

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