

УДК 669.02/.09:004.422.422:159.9.078

*д.т.н. Вишнеvский Д. А.,
к.т.н. Козачишен В. А.,
Бондарь Н. А.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПНЕВМОСИСТЕМЫ МАНИПУЛЯТОРА, МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА И ПОВОРОТА СВОДА И ЭЛЕКТРОДОВ АГРЕГАТА «ПЕЧЬ-КОВШ» В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Разработана структурно-логическая схема оценки отказа пневмосистемы манипулятора и механизма подъема и поворота свода агрегата «печь-ковш» с учетом отказов технических узлов и преднамеренных или непреднамеренных ошибок оператора. Представлены вероятности возникновения человеческого и машинного отказа пневмосистемы манипулятора. Разработана математическая модель оценки итоговой вероятности отказа всей системы с учетом отказов технических узлов и ошибок оператора. Разработана математическая модель расчета чувствительности системы влияния технических отказов и ошибок человека на надежность системы. В качестве примера взяты два объекта: пневмосистема манипулятора и механизм подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш».

Ключевые слова: чувствительность модели, человеческий фактор, отказ системы, дерево отказов.

При эксплуатации металлургического оборудования человеческий фактор (ЧФ) оказывает значительное влияние на возникновение аварийных ситуаций. Металлургическое оборудование в большинстве случаев представляет собой сложные технические системы (СТС), которые требуют: своевременного технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, соблюдения технологического процесса при эксплуатации и т. д. Все вышперечисленные требования выполняет человек, который в процессе своей работы может совершить преднамеренные или непреднамеренные ошибки, влекущие за собой аварийный выход из строя эксплуатируемого оборудования [1–3].

Согласно изученной литературе, около 40 % отказов различных технических систем прямо или косвенно связано с ЧФ, а 20 % — напрямую с человеком [4–6]. В этой связи актуально создание моделей оценки на чувствительность технических отказов и человеческих ошибок.

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудова-

нии применяется анализ методом дерева неполадок. Оценка возможности отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем проводится на основе статистических данных по интенсивности их отказа.

В данной работе рассмотрено, как влияет человеческий фактор при эксплуатации, на примере двух действующих механизмов: пневмосистемы манипулятора; механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш».

При использовании манипулятора с пневмоприводом для погрузки и выгрузки заготовок из печи можно констатировать, что он состоит из большого количества технических элементов, отказ которых может привести к его выходу из строя или преждевременному износу основных узлов; может существенно повлиять на сроки осуществления технологических процессов, принимая во внимание то, что в состав простейшей пневмосистемы входят компрессор, редуктор, электропривод, валы с подшипниками, баллон, конечные выключатели и т. д.

Структурно-логическая схема оценки отказа пневмосистемы манипулятора в зависимости от отказов технических узлов и ошибок оператора представлена в виде дерева отказов на рисунке 1, соответствующие вероятности отказов приведены в таблице 1.

Для оценки вероятности $P(Y)$ отказа всей системы используем формулы алгебры вероятностей, учитывая, что при параллельном соединении элементов в схеме необходимо применить теорему сложения вероятностей, при последовательном — теорему умножения. Расчет базируется на следующих формулах:

– для вероятности противоположного события:

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A); \quad (1)$$

– для вероятности суммы совместных независимых событий:

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1 - P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \dots \cdot \bar{A}_n); \quad (2)$$

– для вероятности произведений независимых событий:

$$P(A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n). \quad (3)$$

Для исходных вероятностей из таблицы 1 примем обозначения:

$$P(A_{ч1}) = p_{ч1}, P(A_{ч2}) = p_{ч2}, \dots, P(A_{ч11}) = p_{ч11}, \\ P(A_{Т1}) = p_{Т1}, P(A_{Т2}) = p_{Т2}, \dots, P(A_{Т15}) = p_{Т15}.$$

Рассмотрим вероятность выхода из строя пневмосистемы манипулятора (рис. 1, 2).

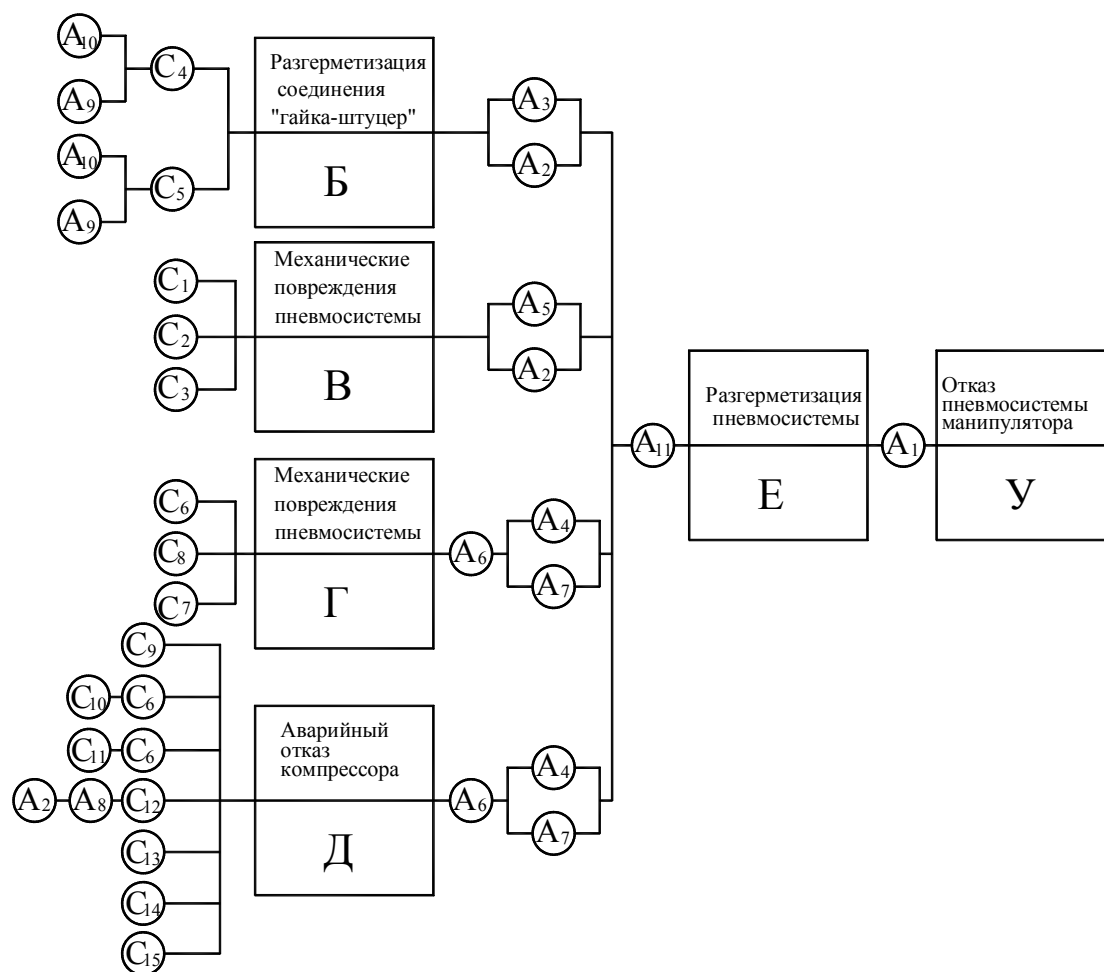


Рисунок 1 Дерево отказов пневмосистемы манипулятора

Таблица 1

Вероятности возникновения человеческого и машинного отказов пневмосистемы манипулятора

Обозначение вероятности человек/машина	Событие А	Вероятность P(A)
A1	Нарушение правил безопасности	0.05
A2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	0.004
A3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	0.039
A4	Необнаружение сигнала	0.062
A5	Невыполнение операции нажатия кнопки	0.015
A6	Невыполнение операции включения тумблера	0.01
A7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	0.002
A8	Невыполнение действия по соединению кабеля	0.014
A9	Некачественно выполнено действие по подсоединению шланга	0.045
A10	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	0.09
A11	Неиспользование средств защиты съёмных ограждений	0.25
C1	Механическое повреждение редуктора баллона	0.003
C2	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	0.005
C3	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	0.005
C4	Выход из строя гайки редуктора	0.00002
C5	Выход из строя прокладки редуктора	0.04
C6	Превышение давления воздуха в баллоне	0.00004
C7	Эксплуатация неисправного баллона	0.0002
C8	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	0.0002
C9	Отказ предохранителя	0.00003
C10	Выход из строя подшипника электродвигателя	0.00002
C11	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	1.1E-06
C12	Отказ конечного выключателя	0.00003
C13	Износ сальникового уплотнителя	0.00003
C14	Выход из строя подшипника вала компрессора	0.00002
C15	Износ муфты	0.000025

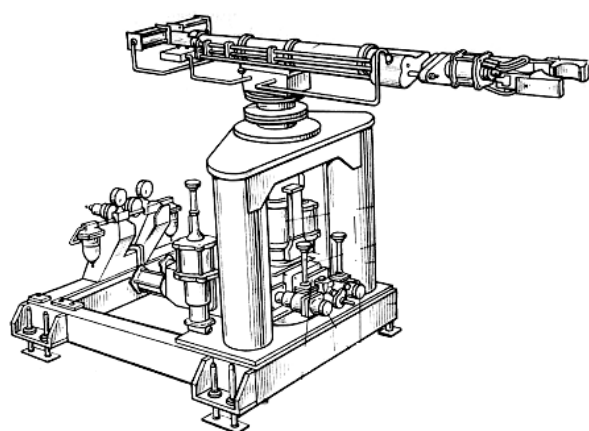


Рисунок 2 Промышленный пневматический манипулятор

Вероятности противоположных событий обозначим q_i с соответствующими индексами.

Запишем формулы событий, соответствующих схеме рисунка 1:

– событие Б — разгерметизация соединения «гайка — штуцер»:

$$B = (A_9 + A_{10}) \cdot (C_4 + C_5);$$

– событие В — механическое повреждение пневмосистемы:

$$B = C_1 + C_2 + C_3;$$

– событие Г — механическое повреждение пневмосистемы:

$$\Gamma = C_6 + C_7 + C_8;$$

– событие Д — аварийный отказ компрессора:

$$D = C_9 + C_{13} + C_{14} + C_{15} + C_6 \cdot C_{10} + C_6 \cdot C_{11} + A_2 \cdot A_8 \cdot C_{12};$$

– событие Е — разгерметизация пневмосистемы:

$$E = (B \cdot (A_2 + A_3) + B \cdot (A_2 + A_5) + \Gamma \cdot A_6 \cdot (A_4 + A_7) + D \cdot A_6 \cdot (A_4 + A_7)) \cdot A_{11};$$

– финальное событие У — отказ пневмосистемы манипулятора:

$$Y = E \cdot A_1.$$

Вероятности описанных событий рассчитываются последовательно по формулам (1–3) [7].

Запишем результаты для основных событий: $P(B)=0,00524$; $P(V)=0,01295$; $P(\Gamma)=0,00044$; $P(D)=0,0001$; $P(E)=0,00012$.

Вероятность отказа всей системы равна $P(Y)=5,9 \cdot 10^{-6}$.

Для выявления силы влияния ЧФ в итоговой вероятности отказа системы $P(Y)$ проведем исследование модели на чувствительность к изменению входных параметров — вероятностей отказов (из таблицы 1).

Случай А. Чувствительность модели к поодиному изменению входных показателей.

Расчет осуществляем по формулам [8]:

$$\Delta R_* = f(p_{q1}, \dots, p_* + \Delta p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm}) - f(p_{q1}, \dots, p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm}),$$

$$\delta R_* = \frac{\Delta R_*}{f(p_{q1}, \dots, p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm})} \cdot 100\%,$$

$$\bar{d} = \{\delta R_{q1}, \dots, \delta R_{qn}, \delta R_{T1}, \dots, \delta R_{Tm}\}.$$

Показатель чувствительности, характеризующий процентное изменение итоговой вероятности отказа $P(Y)$, если i -й параметр увеличился на 1 %, рассчитывается для каждой вероятности отказа входных событий (табл. 2). На диаграмме рисунка 3 показан ранжированный по показателю чувствительности ряд отказов технических узлов и ошибок оператора, соответствующих обозначениям таблицы 1.

Анализ полученных результатов позволяет выделить как наиболее влияющие на отказ всей системы события, связанные с ЧФ: А1 — нарушение правил безопасности; А11 — неиспользование средств защиты съемных ограждений; А3 — совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия; А5 — невыполнение операции нажатия кнопки; А10 — некачественное выполнение действия по установке уплотнения. Из технических отказов выделяется событие С5 — выход из строя прокладки редуктора.

Таблица 2

Показатели чувствительности ряда отказов технических узлов и ошибок оператора пневмосистемы

№ п/п	Событие	Событие	Показатель чувствительности
1	2	3	4
1	Нарушение правил безопасности	А1	1
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	А2	0.151344965
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	А3	0.433008027
4	Необнаружение сигнала	А4	0.00071709
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	А5	0.411398058
6	Невыполнение операции включения тумблера	А6	0.000740268
7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	А7	2.17412E-05

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
8	Невыполнение действия по соединению кабеля	A8	2.29133E-09
9	Некачественно выполнено действие по подсоединению шланга	A9	0.149351784
10	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	A10	0.313474624
11	Неиспользование средств защиты съёмных ограждений	A11	1
12	Механическое повреждение редуктора баллона	C1	0.119661505
13	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	C2	0.199836717
14	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	C3	0.199836717
15	Выход из строя гайки редуктора	C4	0.000229137
16	Выход из строя прокладки редуктора	C5	0.47735878
17	Превышение давления воздуха в баллоне	C6	5.43168E-05
18	Эксплуатация неисправного баллона	C7	0.000271621
19	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	C8	0.000271621
20	Отказ предохранителя	C9	4.07499E-05
21	Выход из строя подшипника электродвигателя	C10	1.0866E-09
22	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C11	7.08628E-11
23	Отказ конечного выключателя	C12	2.29133E-09
24	Износ сальникового уплотнителя	C13	4.07499E-05
25	Выход из строя подшипника вала компрессора	C14	2.71664E-05
26	Износ муфты	C15	3.39581E-05

Показатель чувствительности

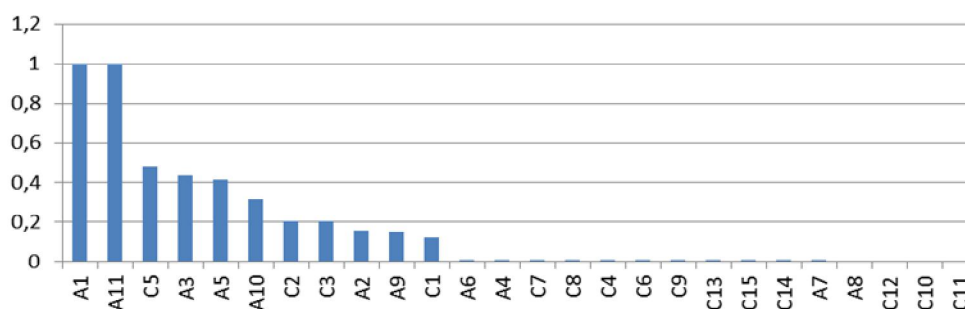


Рисунок 3 Показатели чувствительности отказов технических узлов и ошибок оператора согласно таблице 2

Анализируя полученные результаты проведенных исследований, видим, что по показателям чувствительности человеческих отказов из 26 вероятностей возникновения отказов в диапазоне от 1 до 0,3 пять относятся к человеческим отказам и один — к отказу технических узлов.

Это говорит о том, что показатель чувствительности ЧФ занимает высокое процентное значение: изменение параметров

A11, A1 на 1 % приводит к изменению итоговой вероятности отказа пневмосистемы на 1 %. Полученные данные дают подтверждение о влиянии человека на безотказность пневмосистемы.

Случай Б. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей.

Изменяем входные вероятности для каждого из факторов групп ЧФ и ТФ поочередно

но, а затем для всех вероятностей вместе. Расчет выполняем по формулам 6–8 [8]. Получаем следующие результаты:

- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 3,5 %;
- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1 %;
- общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 4,5 %.

Отсюда видно, что ЧФ является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора.

Структурно-логическая схема оценки отказа данной технической системы (рис. 4) в зависимости от отказов технических узлов и ошибок оператора представлена в

виде «дерева отказов» на рисунке 5, а соответствующие вероятности отказов приведены в таблице 3.

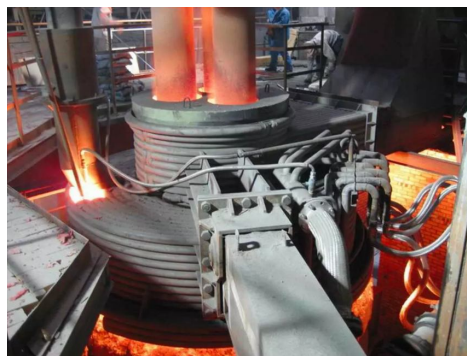


Рисунок 4 Механизм подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш»

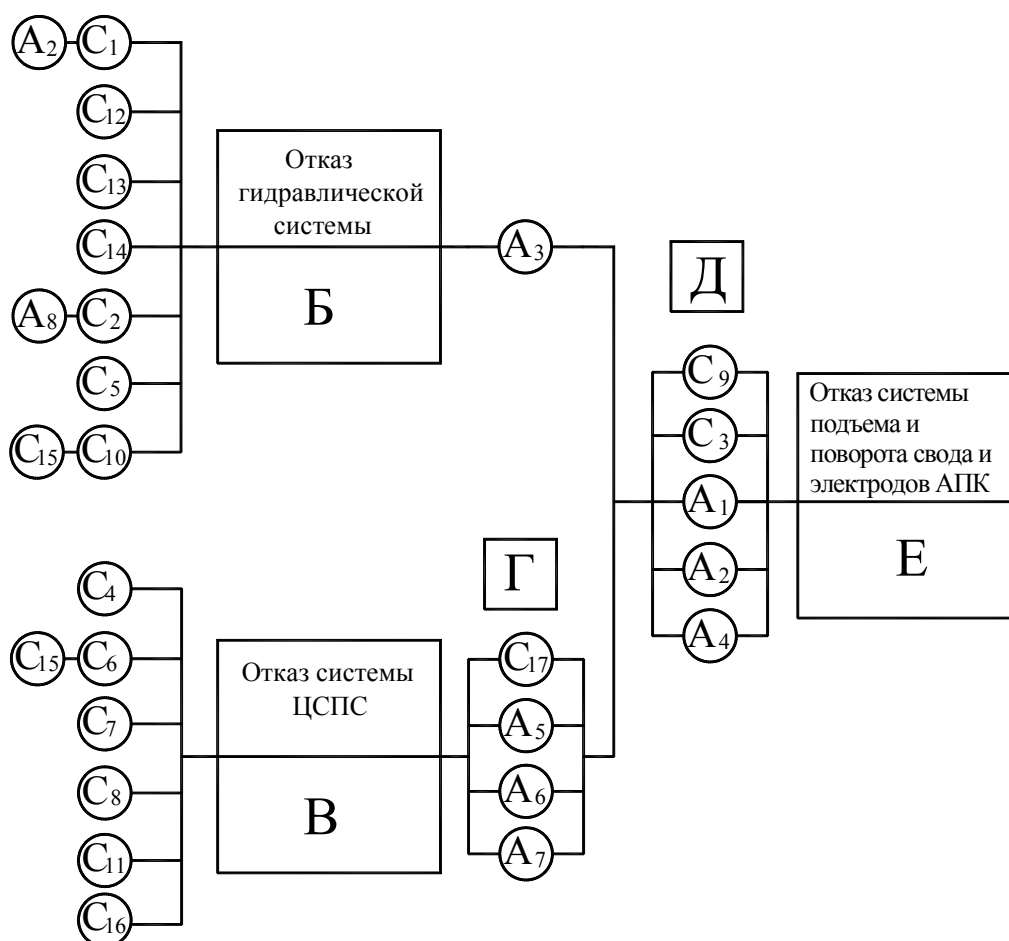


Рисунок 5 Дерево отказов механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш»

Таблица 3

Вероятности отказов при возникновении аварийной ситуации в процессе эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш»

Обозначение вероятности человек/машина	Событие А	Вероятность P(A)
A1	Нарушение правил безопасности	0.05
A2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	0.004
A3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	0.039
A4	Необнаружение сигнала	0.062
A5	Невыполнение операции нажатия кнопки	0.015
A6	Невыполнение операции включения тумблера	0.01
A7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	0.002
A8	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	0.014
C1	Механическое повреждение трубопровода	0.00005
C2	Выход из строя прокладки	0.04
C3	Превышение давления в системе	0.00004
C4	Отказ электромагнитного распределителя	0.0000035
C5	Отказ предохранителя	0.000003
C6	Выход из строя подшипника электродвигателя	0.00002
C7	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	1.1E-06
C8	Отказ конечного выключателя	0.00003
C9	Износ сальникового уплотнителя	0.00003
C10	Выход из строя подшипника вала насоса	0.00002
C11	Выход из строя муфты	0.000025
C12	Дефекты сварных соединений	0.000076
C13	Отказ предохранительного клапана	0.026
C14	Отказ нагнетательного клапана	0.00086
C15	Отказ датчика контроля температуры	0.029
C16	Отказ фланца	0.000086
C17	Отказ предохранительной арматуры	0.026

Оценка итоговой вероятности отказа всей системы выполняется аналогично пункту 1.

Запишем основные события согласно схеме рисунка 5:

$$B = C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_5 + A_2 \cdot C_1 + A_8 \cdot C_2 + C_{15} \cdot C_{10},$$

$$V = C_4 + C_7 + C_8 + C_{11} + C_{16} + C_{15} \cdot C_6,$$

$$Г = C_{17} + A_5 + A_6 + A_7,$$

$$Д = C_9 + C_3 + A_1 + A_2 + A_4.$$

Финальное событие E — отказ системы подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш»:

$$E = (B \cdot A_3 + B \cdot Г) \cdot Д.$$

Запишем результаты для основных событий: $P(B) = 0,0275$; $P(V) = 0,00015$; $P(Г) = 0,0521$; $P(Д) = 0,1125$.

Вероятность отказа всей системы равна $P(E) = 1,21 \cdot 10^{-4}$.

Для выявления силы влияния ЧФ в итоговой вероятности отказа системы $P(E)$ исследуем модель на чувствительность к изменению входных параметров — вероятностей отказов (из таблицы 3).

Случай А. Чувствительность модели к одиночному изменению входных показателей.

Результаты показаны в таблице 4 и на диаграмме рисунка 6.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Таблица 4

Показатели чувствительности ряда отказов технических узлов и ошибок оператора механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш»

№ п/п	Событие	Событие	Показатель чувствительности
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.41509
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.03168
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	A3	0.99294
4	Необнаружение сигнала	A4	0.52130
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.00195
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.00130
7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	A7	0.00026
8	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	A8	0.01970
9	Механическое повреждение трубопровода	C1	0.00001
10	Выход из строя прокладки	C2	0.01970
11	Превышение давления в системе	C3	0.00032
12	Отказ электромагнитного распределителя	C4	0.00017
13	Отказ предохранителя	C5	0.00011
14	Выход из строя подшипника электродвигателя	C6	0.00003
15	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C7	0.00005
16	Отказ конечного выключателя	C8	0.00145
17	Износ сальникового уплотнителя	C9	0.00024
18	Выход из строя подшипника вала насоса	C10	0.00002
19	Выход из строя муфты	C11	0.00121
20	Дефекты сварных соединений	C12	0.00267
21	Отказ предохранительного клапана	C13	0.93873
22	Отказ нагнетательного клапана	C14	0.03027
23	Отказ датчика контроля температуры	C15	0.00005
24	Отказ фланца	C16	0.00415
25	Отказ предохранительной арматуры	C17	0.00343

Показатель чувствительности

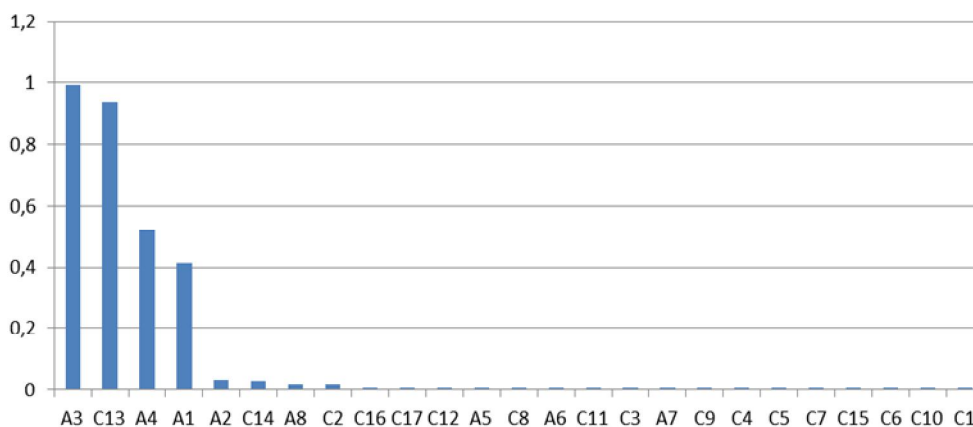


Рисунок 6 Показатели чувствительности отказов технических узлов и ошибок оператора согласно таблице 4

Согласно выполненному анализу, выделяются следующие наиболее влияющие на вероятность отказа всей системы факторы:

- в группе ЧФ: А3 — совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия; А4 — необнаружение сигнала; А1 — нарушение правил безопасности;
- в группе ТФ: С13 — отказ предохранительного клапана.

Случай Б. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей.

Изменяем входные вероятности для каждого из факторов групп ЧФ и ТФ поочередно, а затем для всех вероятностей вместе.

Получаем следующие результаты:

- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 1,998 %;
- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1,003 %;
- общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 3,001 %.

Отсюда видно, что ЧФ и в этом случае является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш».

Выводы. В данной работе был произведен расчет оценки влияния ЧФ в аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора с учетом ТФ и ЧФ. Из анализа полученных результатов проведенных исследований видно, что по показателям чувствительности человеческих отказов из 26 вероятностей возникновения отказов в диапазоне от 1 до 0,3 пять относятся к человеческим отказам и один — к отказу технических узлов.

Показатель чувствительности ЧФ имеет высокое процентное значение: изменение параметров А11, А1 на 1 % приводит к изменению итоговой вероятности отказа пневмосистемы на 1 %. Полученные данные дают подтверждение о влиянии человека на безотказность пневмосистемы.

Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей дает следующую картину: чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 3,5 %; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1 %; общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 4,5 %.

Для подтверждения правильности полученных результатов был рассмотрен еще один механизм оценки влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш». Расчет оценки влияния ЧФ в аварийной ситуации показал, что наиболее влияющие на вероятность отказа всей системы факторы:

- в группе ЧФ: А3 — совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия; А4 — необнаружение сигнала; А1 — нарушение правил безопасности;
- в группе ТФ: С13 — отказ предохранительного клапана.

Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей дает следующую картину: чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 1,998 %; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1,003 %; общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 3,017 %.

Из проведенного анализа полученных результатов исследований видно, что в двух случаях — при эксплуатации пневмосистемы манипулятора, при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата «печь-ковш» — человек является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации. Чувствительность моделей к изменению вероятностей группы ЧФ от 2 до 3,5 %.

Библиографический список

1. Безопасность машин и человеческий фактор [Текст] : монография / под ред. С. А. Волкова. — СПб. : СПбГАСУ, 2011. — 111 с.
2. Вишнеvский, Д. А. Анализ влияния «человеческого фактора» на надежность металлургического оборудования [Текст] / Д. А. Вишнеvский, Б. А. Сахаров // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 12 (55). — С. 97–104.
3. Руу, Р. Human reliability analysis methods for probabilistic safety assessment [Text] / Pekka Ruu. — Espoo : Technical Research Centre of Finland (VTT), 2000. — 63 p.
4. Вишнеvский, Д. А. Влияние организационных факторов на надежность металлургического оборудования [Текст] / Д. А. Вишнеvский // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сб. науч. тр. 4-й междунар. молодеж. науч.-практ. конф. ; отв. ред. Е. В. Павлов. — Курск : Университетская книга, 2017. — Т. 1. — С. 146–149.
5. Зарубежный опыт проведения профессионального отбора [Текст] // Охрана труда. Зарубежный опыт: экспресс-информация. — М. : ВНИИ охраны и экономики труда, 2009. — Вып. 3. — С. 3–25.
6. Сулейманов, М. Г. Оценка надежности персонала при профессиональном отборе кадров в металлургии [Текст] / М. Г. Сулейманов, Л. Ш. Абдуллина // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. — 2014. — № 3. — С. 73–78.
7. Vishnevsky, D. A. Reliability calculation for metallurgical equipment considering the probability of operator's error [Text] / D. A. Vishnevsky // Journal of Advanced Research in Natural Science. — 2019. — Iss. 12. — P. 21–26.
8. Vishnevsky, D. A. Mathematical modeling for human factor influence on the equipment reliability in the machine building shops of metallurgical enterprises ability calculation for metallurgical equipment considering the probability of operator's error [Text] / D. A. Vishnevsky, A. L. Sotnikov // Journal of Advanced Research in Technical Science. — 2021. — Iss. 24. — P. 41–46.

© Вишнеvский Д. А.

© Козачишен В. А.

© Бондарь Н. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ТМиИК ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А., д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТИ Харламовым Ю. А.

Статья поступила в редакцию 14.10.2022.

Doctor of Technical Sciences Vishnevskiy D. A., PhD in Engineering Kozachischen V. A., Bondar N. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

ASSESSING THE INFLUENCE OF HUMAN FACTOR ON FUNCTIONING OF THE PNEUMATIC MANIPULATOR SYSTEM AND THE MECHANISM OF LIFTING AND ROTATING THE ARCH AND ELECTRODES OF THE FURNACE-LADLE UNIT IN AN EMERGENCY SITUATION

A structural and logical scheme for assessing the failure of the pneumatic manipulator system has been developed, considering the failures of technical components and intentional or unintentional operator errors. The probabilities of human and machine failure of the pneumatic manipulator system are presented. A mathematical model has been developed for assessing the final probability of failure of the entire system, considering the failures of technical components and operator errors. A mathematical model has been developed for calculating the response of technical failure system and human errors on system reliability. Two objects are taken as an example: the pneumatic manipulator system of lifting and turning mechanism of the arch and electrodes of the furnace-ladle unit.

Key words: model sensitivity, human factor, system failure, failure tree.