

МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ АППАРАТОВ ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

П.В. Балабанов¹, А.А. Кримштейн²,
С.В. Пономарев¹, С.В. Щербаков²

*Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»,
ГОУ ВПО «ТГТУ» (1); pav-balabanov@yandex.ru;
кафедра «Транспортные установки», ГОУ ВПО «МАДИ» (2)*

Ключевые слова и фразы: вероятность безотказной работы; массоперенос в изолирующих дыхательных аппаратах; схема расчета надежности.

Аннотация: Определены критерии отказа индивидуального изолирующего аппарата и составлена схема расчета его надежности. Обоснована возможность применения математических моделей работы аппарата для статистической оценки его работоспособности при сочетании различных случайных факторов как при эксплуатации, так и при изменении некоторых определяющих параметров его частей и свойств регенеративного продукта. Разработан алгоритм расчета вероятности безотказной работы аппарата в период времени его защитного действия при малом числе испытаний.

Обозначения

a – количество сорбированного компонента, м ³ /м ³ ; a_0 – коэффициент предельной сорбции, м ³ /м ³ ; C – текущая концентрация компонентов, кг/м ³ ; D – коэффициент диффузии, м ² /с; H – длина рабочего слоя, м;	P – вероятность безотказной работы; w – линейная скорость, м/с; x – пространственная координата; β – коэффициент массообмена, с ⁻¹ ; τ – время, с; $1, 2$ – индексы, относящиеся к углекислому газу и кислороду, соответственно.
--	---

Введение

Оценка показателей надежности (ПН) индивидуальных изолирующих аппаратов (ИИА) должна производиться в соответствии с требованиями, указанными в соответствующих государственных стандартах, предусматривающих возможность расчета показателей надежности по данным, полученным различными методами, – экспериментальным, расчетно-экспериментальным, расчетным.

К сожалению, проведение экспериментов в количестве, достаточном для оценки вероятности безотказной работы ИИА в период времени защитного действия (ВЗД) экспериментальным методом, затруднено в силу значительных затрат материальных и временных ресурсов. Например, при проведении предварительных или государственных испытаний аппаратов количество экспериментов, проведенных, в том числе и на людях, составляет несколько десятков. Поэтому, для оценки надежности должен быть принят расчетно-экспериментальный метод (РЭМ).

В качестве исходных данных при применении РЭМ для оценки ПН аппаратуры в целом по результатам ее испытаний используют:

- схему расчета надежности (СхРН) аппаратуры и принятые при ее составлении допущения;
- расчетные формулы, описывающие СхРН, или программно-реализованные алгоритмы оценки ПН аппаратуры методом статистического моделирования;
- первичные статистические данные о наработке, числе отказов, длительности ремонтов и т.п. составных частей (элементов СхРН), полученные на испытаниях аппаратуры.

СхРН составляют на основе анализа структуры, выполняемых функций, состава и конструктивных особенностей аппаратуры. В СхРН должны быть включены все устройства (блоки, приборы, узлы и т.п.), отказы которых влияют на величину оцениваемого показателя надежности.

Обычно для оценки ПН аппаратов разового использования применяется биномиальное распределение, распределение Пуассона или распределение Лапласа. В качестве ПН используется вероятность безотказной работы в течение заданного промежутка времени.

Целью настоящей работы является разработка метода расчета вероятности безотказной работы ИИА при малом числе испытаний.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- определены критерии отказа;
- составлена СхРН;
- обоснована возможность применения математических моделей работы ИИА для статистической оценки его работоспособности при сочетании различных случайных факторов как при эксплуатации аппарата, так и при изменении некоторых определяющих свойств различных частей аппарата и регенеративного продукта;
- разработан алгоритм расчета вероятности безотказной работы ИИА в период ВЗД при малом числе испытаний.

Критерии отказа и схема расчета надежности

При использовании ИИА встречаются два типа отказов – функциональный и параметрический. Функциональный отказ – это состояние, когда аппарат невозможно использовать по назначению в период времени защитного действия, определяемого нормативно-технической документацией (НТД). Параметрический отказ – это состояние, когда аппарат может быть использован по прямому назначению, но параметры, определяющие ВЗД, – концентрация углекислого газа и температура газовой смеси на входе, сопротивление дыханию и т.д., превышают заданные в НТД значения, но работа в аппарате возможна.

Изолирующий аппарат является устройством, содержащим следующие элементы: регенеративный патрон, дыхательный мешок, гофртрубку, лицевую часть (колпак). Каждый из этих элементов по результатам многолетней эксплуатации достаточно надежен ($P \sim 1$). Однако, отказ каждого из них вызывает отказ аппарата.

Система «изолирующий аппарат – искусственные легкие (или легкие человека)» является, с точки зрения математического моделирования, достаточно сложной системой, так как она существенно нестационарна – с переменными полями скоростей и температур, и описывается сложными химическими процессами, происходящими в реакторе. Следовательно, при моделировании работы аппарата

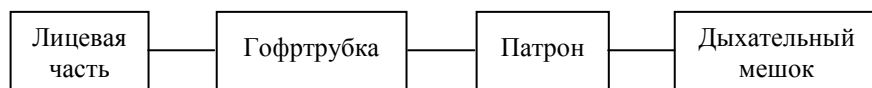


Рис. 1. Схема расчета надежности

приходится вводить ряд допущений, которые на каждом этапе построения модели важно удачно выбрать таким образом, чтобы модель была работоспособной, но, в то же время, не загромождалась несущественными подробностями. СхРН по функциональному отказу представлена на рис. 1.

Для предложенной схемы вероятность безотказной работы аппарата в период ВЗД вычисляется по формуле

$$P = \prod_{i=1}^4 P_i, \quad (1)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента СхРН в период ВЗД.

По данным многолетней эксплуатации индивидуальных средств защиты вероятности безотказной работы лицевой части, гофртрубки и дыхательного мешка близки к 1.

Для оценки вероятности безотказной работы патрона примем, что частота проявления отказов подчинена закону распределения Пуассона. Учитывая малое количество экспериментальных данных, для расчета вероятности безотказной работы патрона воспользуемся формулой [1]

$$P = 1 - \frac{r_0}{N}, \quad (2)$$

где r_0 – коэффициент (ГОСТ 15140–78); N – число испытаний, если отказов не наблюдалось, и формулой

$$P = 1 - \frac{r_0}{kN}, \quad (3)$$

где k – число отказов, если отказы наблюдались.

Определение вероятности функционального и параметрического отказов требует анализа работы аппарата при различных сочетаниях факторов. Проведение такого анализа требует привлечения математической модели работы аппарата.

Обоснование возможности применения математической модели работы ИИА для статистической оценки его работоспособности

В качестве объекта моделирования в настоящей работе использовался макет аппарата с маятниковой схемой дыхания, при которой воздух на выдохе проходит через гофрированную трубку в патрон и поступает в мешок, на вдохе воздух совершает движение в обратном направлении. При избыточном давлении кислорода происходит травление газовой смеси через клапан избыточного давления. Регенерация выдыхаемого воздуха происходит в патроне, который заполнен твердым веществом на основе супероксидов щелочных металлов, поглощающих пары воды и диоксид углерода с одновременным выделением кислорода.

Математические модели массопереноса [2–4] в изолирующих дыхательных аппаратах, работающих по маятниковой схеме (в случае осевого прямооточного патрона), представляют собой дифференциальные уравнения:

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} + w(\tau) \frac{\partial C_i}{\partial x} = -\frac{\partial a_i}{\partial \tau} + D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2}, \quad i = 1, 2; \quad (4)$$

$$\frac{\partial a_1}{\partial \tau} = F_1(C_1, a_1); \quad (5)$$

$$\frac{\partial a_2}{\partial \tau} = F_2(C_1, C_2, a_1, a_2), \quad (6)$$

с начальными условиями $C_1(x, 0) = 0$; $C_2(x, 0) = C_{O_2}^{\text{возд}}$; $a_1(x, 0) = 0$, $a_2(x, 0) = a_{02}$,

где $C_{O_2}^{\text{возд}}$ – концентрация кислорода в воздухе.

Граничные условия на входе и выходе имеют вид:

– на выходе

$$C_i(0, \tau) = C_i^{\text{выдох}}(\tau), \quad i = 1, 2,$$

где $C_i^{\text{выдох}}$ – концентрация i -го вещества в гофртрубке на выходе,

$$\frac{\partial C_i(H, \tau)}{\partial \tau} + w \frac{\partial C_i(H, \tau)}{\partial x} = -\frac{\partial a_i(H, \tau)}{\partial \tau}, \quad i = 1, 2;$$

– на входе левая и правая граница меняются местами

$$C_i(H, \tau) = C_i^{\text{д.м}}(\tau), \quad i = 1, 2,$$

где $C_i^{\text{д.м}}$ – концентрация i -го вещества в дыхательном мешке.

Конкретный вид функций F_1 и F_2 определяется экспериментально.

В работе [5] путем определения мощности внутренних источников тепла, действующих в слое регенеративного продукта в процессе поглощения углекислого газа и влаги, было обосновано применение формального уравнения кинетики типа бимолекулярной реакции для описания процесса хемосорбции регенеративными веществами на основе супероксида калия в макете цилиндрической формы, в том числе и на пульсирующем потоке. Таким образом, уравнения (5), (6) могут быть записаны в виде:

$$\frac{\partial a_1}{\partial \tau} = \beta_1 C_1 \left(1 - \frac{a_1}{a_{01}} \right); \quad (7)$$

$$\frac{\partial a_2}{\partial \tau} = \beta_2 C_1 \left(-\frac{a_2}{a_{02}} \right). \quad (8)$$

Кроме того, проведение предварительных расчетов аппарата показало, что в модель его работы могут быть внесены следующие приближения.

Переход на характеристики [6] дает возможность пренебречь производной концентрации по времени, а диффузионная составляющая в уравнениях массопереноса не оказывает существенного влияния на результат.

С учетом допущений, дифференциальные уравнения (4) примут вид

$$w(\tau) \frac{\partial C_i}{\partial x} = -\frac{\partial a_i}{\partial \tau}, \quad i = 1, 2. \quad (9)$$

Уравнения (7)–(9) с соответствующими начальными и граничными условиями были решены численным методом прогонки [7, 8], для чего были получены соответствующие разностные уравнения.

Для массообмена по углекислому газу разностные уравнения имеют вид на выдохе:

$$a_m^{n+1} = a_m^n + t\beta_1 c_m^n \left(1 - \frac{a_m^n}{a_{01}}\right); \quad (10)$$

$$c_m^{n+1} = c_m^n - c_{m-1}^{n+1} \left(1 - \frac{a_{m-1}^{n+1}}{a_{01}}\right) \beta_1 \frac{h}{w^{n+1}}, \quad m = \overline{1, N-1}, \quad (11)$$

где $c_1^{n+1} = C^{\text{выдох}}$ – концентрация углекислого газа на выдохе; t, h – шаг по времени и координате соответственно.

На входе уравнение (10) не изменится, а (11) примет вид

$$c_m^{n+1} = c_m^n - c_{m+1}^{n+1} \left(1 - \frac{a_{m+1}^{n+1}}{a_{01}}\right) \beta_1 \frac{h}{|w^{n+1}|}, \quad m = \overline{N-1, 1},$$

где $c_N^{n+1} = C^{\text{д.м}}$ – концентрация углекислого газа в дыхательном мешке.

Система разностных уравнений для кислорода будет выглядеть аналогично.

При моделировании процессов массообмена в реакторе важную роль играет правильный выбор коэффициентов массообмена β и предельной сорбции a_0 . Определить их заранее можно приближенно, поскольку они зависят от вида продукта, внешних условий, а также от режима вентиляции. Эти коэффициенты определялись в результате обработки экспериментальных данных из следующих соображений: полученные в результате расчетов концентрации углекислого газа в дыхательном мешке и скорость выделения кислорода должны как можно меньше отличаться от экспериментальных.

В результате применения математических моделей работы аппарата, были получены численные данные о концентрации углекислого газа и кислорода на входе и в дыхательном мешке при различных режимах нагрузки по углекислому газу.

Сопоставление численных расчетов и экспериментальных данных по углекислому газу (рис. 2) и по кислороду (рис. 3) показало их хорошую сходимость.

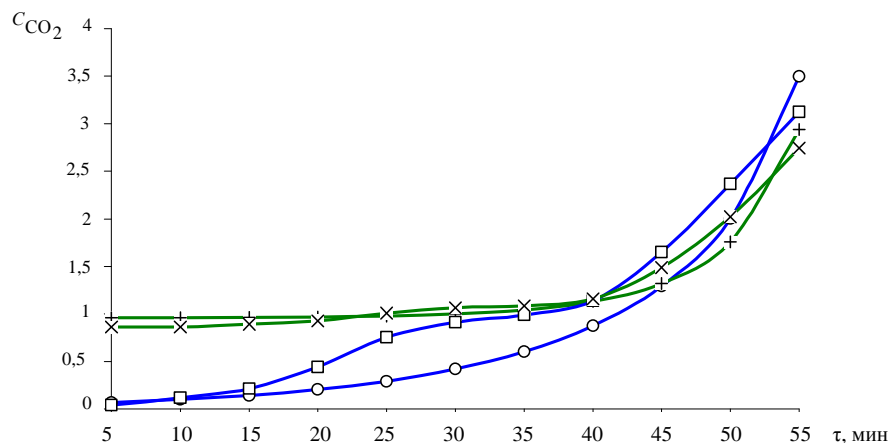


Рис. 2. Сравнение усредненных экспериментальных и расчетных данных по концентрации углекислого газа:

- расчетные данные в дыхательном мешке; —+— расчетные данные на входе;
- экспериментальные данные в дыхательном мешке;
- ×— экспериментальные данные на входе

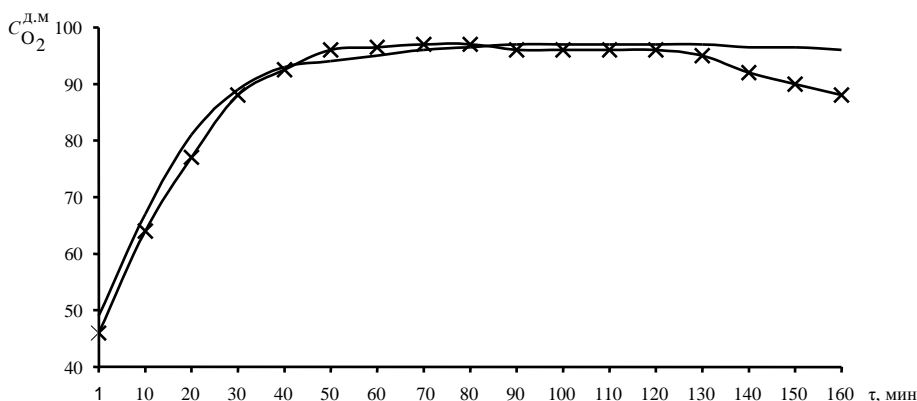


Рис. 3. Сравнение усредненных экспериментальных и расчетных данных по кислороду:

—×— расчетные данные; ——— экспериментальные данные

Таким образом, предложенные упрощенные математические модели работы аппарата могут быть использованы для оценки параметров, определяющих время защитного действия, а, следовательно, и для оценки надежности аппарата по параметрическому критерию.

Оценка времени защитного действия аппарата при сочетании различных режимных параметров его работы

Математические модели работы аппарата позволяют провести расчеты полей концентраций углекислого газа и кислорода на вдохе и в дыхательном мешке. Таким образом, имеется возможность оценить теоретическое время защитного действия аппарата при различном сочетании режимных параметров проведения эксперимента, конструктивных параметров аппарата и сорбционных свойств регенеративного продукта. Реальные испытания аппаратов показали, что наиболее значимыми факторами, влияющими на время защитного действия, являются: объем легочной вентиляции, частота дыхания, объем вредного пространства и сорбционная емкость по диоксиду углерода. Диапазон варьирования и значения этих факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения и диапазон варьирования факторов для легочной вентиляции

Факторы	Уровни факторов			Интервалы варьирования
	- 1	0	+ 1	
30 л/мин				
X ₁ . Средний объем вентиляции, л/мин	20	27,5	35	7,5
X ₂ . Объем вредного пространства, л	0,55	0,65	0,75	0,1
X ₃ . Частота дыхания, мин ⁻¹	14	18	22	4
X ₄ . Предельная сорбция по CO ₂ , л	90	92	94	2
45 л/мин				
X ₁ . Средний объем вентиляции, л/мин	45	52,5	60	7,5
X ₂ . Объем вредного пространства, л	0,55	0,65	0,75	0,1
X ₃ . Частота дыхания, мин ⁻¹	20	25	30	5
X ₄ . Предельная сорбция по CO ₂ , л	78	81	84	3

Приведенные в таблицах значения были использованы в математических моделях работы аппарата для расчета времени его защитного действия.

Математическая модель позволяет оценить защитное действие до достижения определенной концентрации на вдохе при изменениях свойств регенеративного патрона и изменении параметров, характеризующих дыхание человека. Можно прибегнуть к приему рандомизации всех значений и оценить расчетное время защитного действия. Однако проследить тенденцию, приводящую к минимизации времени защитного действия и отказу, таким приемом затруднительно.

Поэтому были использованы приемы планирования эксперимента [9].

В нашем случае имеется четыре значимых фактора: объем легочной вентиляции, частота дыхания, объем вредного пространства и сорбционная емкость по диоксиду углерода. Полный факторный эксперимент при четырех факторах предусматривает 16 численных расчетов. Для уменьшения числа экспериментов использовалась дробная реплика 2_{IV}^{4-1} , матрица планирования которой представлена в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования для легочной вентиляции

№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂ = = X ₃ X ₄	X ₁ X ₃ = = X ₂ X ₄	X ₂ X ₃ = = X ₁ X ₄	τ ^{3,д}
30 л/мин									
1	+	+	+	-	-	+	-	-	45
2	+	-	-	-	-	+	+	+	80
3	+	+	-	-	+	-	-	+	47
4	+	-	+	-	+	-	+	-	82
5	+	+	+	+	+	+	+	+	47
6	+	-	-	+	+	+	-	-	83
7	+	+	-	+	-	-	+	-	46
8	+	-	+	+	-	-	-	+	77
k _i	63,375	-17,125	-0,625	-0,125	1,375	0,375	0,375	-0,625	
45 л/мин									
1	+	+	+	-	-	+	-	-	23
2	+	-	-	-	-	+	+	+	30
3	+	+	-	-	+	-	-	+	24
4	+	-	+	-	+	-	+	-	33
5	+	+	+	+	+	+	+	+	24
6	+	-	-	+	+	+	-	-	33
7	+	+	-	+	-	-	+	-	23
8	+	-	+	+	-	-	-	+	30
k _i	27,5	-4	0	0	1	0	0	-0,5	

В соответствии с приведенными матрицами планирования были проведены численные эксперименты и рассчитано время защитного действия $\tau^{3.д}$ аппарата. По полученным в эксперименте данным проведена регрессия, уравнение которой с учетом линейных эффектов и эффектов взаимодействий имеет вид

$$\tau^{3.д} = k_0 X_0 + k_1 X_1 + k_2 X_2 + k_3 X_3 + k_4 X_4 + k_{12} X_1 X_2 + k_{13} X_1 X_3 + k_{23} X_2 X_3.$$

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по формулам

$$k_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i^{3.д}}{N}, \quad k_j = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ji} \tau_i^{3.д}}{N}, \quad j = 1, \dots, N, \quad b_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ki} X_{li} \tau_i^{3.д}}{N}.$$

С учетом вычисленных коэффициентов, уравнение регрессии примет следующий вид:

– для легочной вентиляции 30 л/мин

$$\tau^{3.д} = 63,375 X_0 - 17,125 X_1 - 0,625 X_2 - 0,125 X_3 + 1,375 X_4 + 0,375 X_1 X_2 + 0,375 X_1 X_3 - 0,625 X_2 X_3,$$

– для легочной вентиляции 45 л/мин

$$\tau^{3.д} = 27,5 X_0 - 4 X_1 + X_4 - 0,5 X_2 X_3.$$

Анализ результатов показывает, что во всем диапазоне изменений условий функционирования (при сочетании самых неблагоприятных факторов) время защитного действия значительно превышает заданное в техническом задании (ТЗ) для легочной вентиляции 30 л/мин, а также для легочной вентиляции 45 л/мин, – то есть вероятность наступления отказов при данном сочетании факторов ничтожно мала.

Следовательно, для оценки вероятности безотказной работы ИИА в период ВЗД можно использовать как испытания аналогов, так и результаты численных экспериментов.

Алгоритм расчета вероятности безотказной работы ИИА в период ВЗД при малом числе испытаний

С учетом изложенного выше, разработан алгоритм расчета вероятности безотказной работы ИИА при малом числе испытаний, заключающийся в следующем:

- проводят 5–10 испытаний ИИА при заданных значениях факторов, влияющих на время защитного действия;
- определяют коэффициенты массообмена по углекислому газу и кислороду исходя из того, чтобы полученные в результате расчетов концентрации углекислого газа в дыхательном мешке и скорость выделения кислорода как можно меньше отличались от экспериментальных;
- определяют значения и диапазон варьирования значимых факторов, разрабатывают матрицу планирования эксперимента и проводят численные расчеты полей концентраций углекислого газа в дыхательном мешке и на вдохе;
- по полученным данным определяют время защитного действия аппарата, фиксируя факты возникновения параметрических отказов;
- вычисляют вероятность безотказной работы аппарата по разработанной схеме расчета надежности и формулам (1)–(3).

Были выполнены расчеты вероятности безотказной работы патрона по формуле (2) и макета ИИА по формуле (1), составившие 0,998 и 0,995 соответственно при уровне доверительной вероятности 0,9.

Список литературы

1. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – М. : Сов. радио, 1968. – 288 с.
2. Кримштейн, А.А. Моделирование работы изолирующих аппаратов на химически связанном кислороде / А.А. Кримштейн, С.В. Плотникова, В.И. Коновалов, Б.В. Путин // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т. 65, № 11. – С. 2463–2469.
3. Математическое моделирование тепловых процессов в изолирующих дыхательных аппаратах на химически связанном кислороде / А.А. Кримштейн, [и др.] // Журн. прикл. химии – 1992. – Т. 65, № 11. – С. 2470–2473.
4. К расчету индивидуальных дыхательных сорбционных аппаратов с круговой схемой движения воздуха / А.А. Кримштейн, [и др.] // Журн. прикл. химии. – 1993. – Т. 66, № 8. – С. 1734–1736.
5. Балабанов, П.В. Исследование кинетики поглощения углекислого газа и влаги регенеративными веществами путем определения мощности внутренних источников тепла / П.В. Балабанов, А.А. Кримштейн, С.В. Пономарев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 503–513.
6. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел : учеб. пособие. / Э.М. Карташов. – 2-е изд., доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 480 с.
7. Пасконов, В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов. – М. : Наука, 1984. – 288 с.
8. Батунер, Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – М. : Госхимиздат, 1960. – 825 с.
9. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 281 с.

Technique for Estimation of Reliability of Individual Isolation Devices Based on Insufficient Data

P.V. Balabanov¹, A.A. Krimstein², S.V. Ponomarev¹, S.V. Shcherbakov²

Department "Automated Systems and Apparatus", TSTU (1);

Department "Transport Devices", Moscow Road Transport Institute (2)

Key words and phrases: failure free operation; mass transfer; mathematical model; reliability calculation scheme.

Abstract: The criteria of individual isolation apparatus failure are determined and its reliability calculation scheme is designed. The possibility of application of mathematical models of device operation for statistic evaluation of its workability under combination of different random factors both in the course of operation and changing of some determining parameters of its parts and properties of regenerative product is grounded. The algorithm of calculation of probability of failure-free device operation in the period of its protective affect under small number of tests is developed.

Methode der Einschätzung der Sicherheit der Arbeit der individuellen isolierenden Apparaten bei der geringen Zahl der Experimentalangaben

Zusammenfassung: Es sind die Kriterien des Versagens des individuellen isolierenden Apparates bestimmt und es ist das Schema der Berechnung seiner Sicherheit zusammengesetzt. Es ist die Möglichkeit der Anwendung der

mathematischen Modelle der Arbeit des Apparates für die statische Einschätzung seiner Arbeitsfähigkeit bei der Kombination der verschiedenen Zufallsfaktoren, sowohl bei der Ausnutzung, als auch bei der Veränderung einiger Bestimmungsparameter seiner Teile und der Eigenschaften des regenerativen Produktes begründet. Es ist den Algorithmus der Berechnung der Wahrscheinlichkeit der störungsfreien Arbeit des Apparates während seines Schutzfunktionierens bei der geringen Versuchenzahl erarbeitet.

Méthode de l'évaluation de l'assurance des appareils individuels isolants lors de petit nombre de données expérimentales

Résumé: Sont déterminés les critères de la défaillance de l'appareil individuel isolant; est composé le schéma du calcul de son assurance. Est argumentée la possibilité de l'application des modèles mathématiques du fonctionnement de l'appareil pour une évaluation statistique de sa possibilité de travail avec la combinaison des facteurs occasionnels lors de l'exploitation ainsi que lors du changement de quelques paramètres déterminants de ses parties et des propriétés du produit régénéré. Est élaboré l'algorithme du calcul de la probabilité du travail sans défaillance dans une période de temps de son action de sécurité lors de petit nombre d'expériences.

Авторы: *Балабанов Павел Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы и приборы» ГОУ ВПО «ТГТУ»; *Кримиштейн Анатолий Абрамович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные установки» ГОУ ВПО «МАДИ»; *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы и приборы» ГОУ ВПО «ТГТУ»; *Щербаков Сергей Викторович* – аспирант кафедры «Транспортные установки» ГОУ ВПО «МАДИ».

Рецензент: *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия» ГОУ ВПО «ТГТУ».
