

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ

ТРЕТЬЯКОВА Лариса¹, КОЛОСНИЧЕНКО Марина²,
ОСТАПЕНКО Наталья³

¹Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт», Украина

^{2,3}Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

В статье представлены структурно-логические и математические модели надежности фильтрующей защитной одежды, выявлены взаимосвязи между элементами, интенсивностью их отказов и изделия.

Выявлены и проанализированы причины возникновения отказов изделия и его элементов. Для повышения защитных свойств обоснован выбор фильтрующего многослойного материала на основе углеродных волокон при изготовлении защитной одежды, как составляющей комплекта.

Согласно разработанным моделям и соответствующим алгоритмам выполнены расчеты по определению уровня надежности фильтрующей защитной одежды.

Надежность фильтрующей защитной одежды повышена путем внедрения однократного общего и смешанного отдельного резервирования, что практически реализовано введением дополнительного поверхностного слоя – водостойкой ткани, герметизацией швов и конструктивным решением отдельных узлов.

По результатам носки фильтрующей защитной одежды в промышленных условиях определена средняя интенсивность отказов, гарантированный срок использования и средний срок использования до списания.

Предложены конструктивно-технологические решения в виде костюма (куртки и брюки) и комбинезона. На основе количественной оценки показателей надежности защитной одежды предложен состав фильтрующих комплектов.

Ключевые слова: защитная одежда, фильтрующие комплекты, модель надежности

Известно [1, 2], что персоналу АЭС во время ведения регламентных работ необходимо использовать эффективные защитные комплекты. Главным их назначением является частичное или полное исключение воздействия на рабочих комплекса опасных и вредных факторов производственной среды с учетом основных способов попадания химических, биологических и радиоактивных веществ в организм – ингаляционным, пероральным и резорбционным. Основной составляющей любого комплекта является защитная одежда (ЗО), которая покрывает наибольшую площадь поверхности тела человека и его наиболее уязвимые органы и ткани.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При выполнении регламентных работ, а также ликвидации аварийных ситуаций и их последствий отдельные комплекты ЗО не в полной мере соответствуют предъявленным требованиям надежности и эргономичности.

Для создания комфортности во время длительной непрерывной работы с высоким уровнем статической и динамической нагрузки рабочему необходимо обеспечить интенсивный теплообмен с окружающей средой. Основой в процессе проектирования специальной одежды для обеспечения защиты рабочих от всех видов опасности является использование современных тканей с соответствующими характеристиками. Главным недостатком существующих материалов, используемых для изготовления ЗО, является высокая водопроницаемость, низкая воздухо- и паропроницаемость, что затрудняет теплообмен и, как следствие, приводит к ограничению длительности непрерывной работы.

Закладывая в момент проектирования необходимый уровень значений показателей качества, в процессе эксплуатации не будет достигнута желаемая степень защиты рабочего в случае возникновения отказа ЗО. Внутренние процессы, приводящие к отказам, обусловлены изменением структуры материалов, ниток, фурнитуры и швов, происходят во времени под влиянием факторов внешней среды (температуры, влажности), условий эксплуатации (механических и электрических нагрузок, вибрации, облучения), режима очистки и хранения. Из-за неравномерного распределения нагрузок элементы ЗО с разным уровнем надежности изнашиваются за различные сроки эксплуатации. Отказ ЗО может произойти в случае нарушения целостности материалов, швов, фурнитуры при их разрыве, проколе, растрескивании под влиянием тепловых, механических нагрузок или электрического пробоя.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимые уровни надежности, эргономичности и теплообмена закладываются, прежде всего, на стадии выбора материалов, конструкторско-технологической разработки, а затем в процессе эксплуатации и хранения.

В соответствии с современными регламентированными требованиями по эксплуатации ЗО ведущую роль играет правильный выбор материалов.

Теплообмен будет сбалансированным, если воздухопроницаемость материалов составляет $(325 \pm 125) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. В качестве ткани для защитной одежды используют фильтрующий многослойный материал на основе углеродных волокон фирмы «Kärcher» (Германия), защитные и физико-механические характеристики которой известны [4]. Уровень воздухопроницаемости материала с лицевой стороны составляет $336 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, с изнаночной – $320 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Материалы являются водопроницаемыми, что ограничивает их использование из-за наличия аэрозолей в воздухе или воды на обрабатываемых поверхностях и проникновения их в пододежное пространство. Материалы меняют свои физико-механические характеристики под воздействием температуры не более чем на $(5 \pm 3)\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Решение разнообразных задач надежности ЗО имеет ряд особенностей с точки зрения их функционирования, а именно:

- массовый и ответственный способ защиты работников в условиях постоянного воздействия опасных факторов;
- многоцелевое использование в условиях неопределенности уровней факторов влияния;
- невозможность восстановления повреждений в процессе работы;

- длительные сроки хранения;
- системный характер структуры защитных комплектов, связанный с технологическим процессом выполнения основных функций.

Эти особенности обуславливают необходимость решения следующих задач по надежности изделий: формализацию набора показателей, построение структурно-логических и математических моделей, выбор методов количественной оценки.

Согласно поставленной цели и обобщения опыта аналогичных расчетов технических средств, для определения надежности отдельных конструктивных элементов, изделий и комплектов предложены следующие показатели:

- вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение времени t ;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$, ч⁻¹;
- время безотказной работы T_0 , ч.

Количественную оценку показателей надежности ЗО можно осуществить в лабораторных условиях, во время испытаний в промышленных условиях и на основе статистической информации, полученной в процессе эксплуатации.

Построение моделей надежности и обоснование их показателей осуществлено на основе опыта разработки различных видов защитных средств и комплектов, а также статистической обработки результатов влияния физико-механических характеристик материалов и конструктивных особенностей на надежность ЗО [4]. Последовательная модель в виде системы из n простых элементов построена для одежды без каких-либо элементов резервирования. Так как все элементы соединены последовательно (рис. 1), то отказ одного из них ведет к снижению уровня защитных свойств всего изделия.

Элементами одежды являются материалы, детали, узлы, швы, каждый из которых характеризуется своим уровнем надежности.

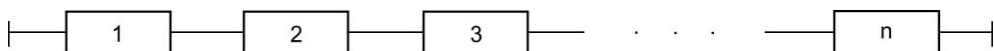


Рисунок 1: Структурно-логическая последовательная модель надежности для защитной одежды

Надежность изделия $P_a(t)$ определяем как функцию параметров элементов модели при условии независимых отказов каждого по формуле:

$$P_a(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau) = \prod_{i=1}^n [\exp(-\lambda_i \cdot \tau)], \quad (1)$$

где $P_i(t)$ – функция надежности i -го элемента; $\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов i -го элемента.

Гарантированный срок эксплуатации ЗО при условии, что надежность каждого элемента описывается экспоненциальным законом, можно определить как среднее время безотказного использования изделия:

$$T_0 = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1}, \quad (2)$$

Модель позволяет установить взаимосвязи между элементами и

выбрать способы повышения надежности конструкторско-технологическими мероприятиями или введением систем резервирования.

Учитывая целевое назначение фильтрующей ЗО, предусмотрена возможность повышения его надежности путем внедрения систем общего и отдельного резервирования (рис. 2).

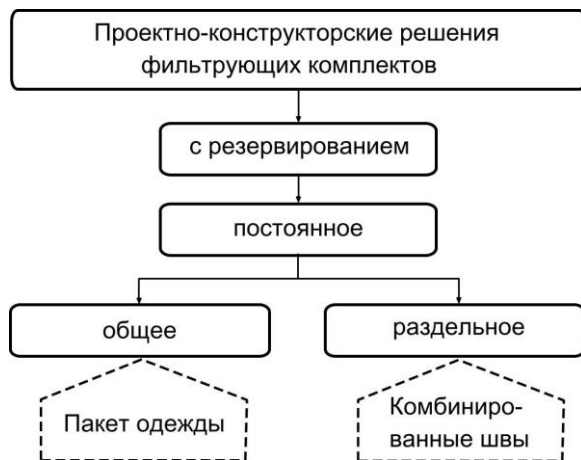


Рисунок 2: Системы резервирования фильтрующей одежды

Каждый вид резервирования требует собственной модели. Структурно-логическая модель общего резервирования представлена как параллельное соединение последовательно связанных элементов (рис. 3).

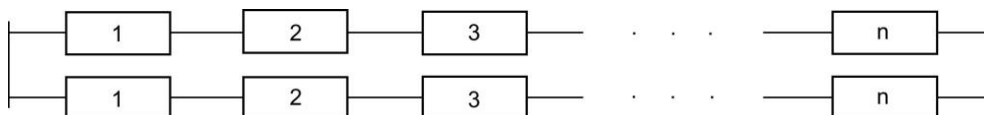


Рисунок 3: Структурно-логическая модель общего резервирования

Надежность изделия из n элементов при общем резервировании определяем по формуле:

$$P_a(\tau) = 1 - \hat{A}_a(\tau) = 1 - \left\{ (1 - D_a(\tau)) \prod_{i=1}^m (1 - D_o(\tau)) \right\}, \quad (3)$$

где $B(\tau)$ – функция отказов изделия; $P_b(\tau)$ – функция надежности базового изделия; $P_p(\tau)$ – функция надежности резервного изделия; m – кратность резервирования.

Максимальную кратность резервирования M определяем по формуле:

$$\hat{I} = \frac{\ln(1 - P_{i0})}{\ln(1 - P_a)}, \quad (4)$$

где P_{pr} – предельный уровень надежности изделия.

Для ЗО обычно используют одно- или двукратное резервирование,

что обусловлено ограничениями габаритов и массы изделий.

Раздельное резервирование предложено в местах с наибольшей механической нагрузкой и структурно-логическую модель можно представить как поэлементное резервирование по смешанной схеме (рис. 4).

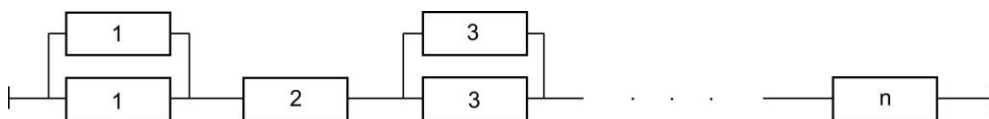


Рисунок 4: Структурно-логическая модель с раздельной схемой резервирования

Надежность всего изделия со смешанным резервированием элементов определяем по формуле:

$$P_{\hat{a}}(\tau) = \prod_{i=1}^{n-k} P_{\hat{a}_i}(\tau) \cdot \prod_{i=1}^k [1 - \hat{A}_{\hat{a}_i}(\tau) \cdot \hat{A}_{\hat{a}_i}(\tau)], \quad (5)$$

где $B_{\hat{a}_i}$ – функция отказов i -го резервируемого элемента; $B_{\hat{a}_i}$ – функция отказов резервного элемента; k – количество резервируемых элементов.

Согласно разработанным моделям и соответствующим алгоритмам выполнены расчеты по определению уровня надежности фильтрующей ЗО. Без резервирования надежность изделия меньше надежности самого ненадежного элемента, которыми в ЗО являются места соединения отдельных деталей. При поэлементном резервировании надежность изделия в целом больше, чем надежность отдельных элементов. Внедрение однократного общего резервирования позволило повысить уровень надежности на 80%, двукратного общего резервирования – на 96%. Дополнительное раздельное резервирование одного самого ненадежного элемента повышает надежность в пределах $(18 \pm 4)\%$ в зависимости от характеристик резервных элементов.

Предложено производить фильтрующую одежду на швейном оборудовании в виде костюма (куртка и брюки) или комбинезона. Конструкцией комбинезонов и курток предусмотрено капюшоны с плотным прилеганием к лицу, что позволяет в случае необходимости использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Практически общее резервирование осуществлено введением дополнительного поверхностного слоя – водостойкой ткани с высоким уровнем физико-механических характеристик, а раздельное резервирование – усилением швов путем их дополнительной герметизации.

Во время носки в промышленных условиях фильтрующей ЗО, изготовленной на предприятии «Икар», определены обобщенные показатели надежности (табл. 1).

Таблица 1: Показатели надежности фильтрующей защитной одежды

Ассортимент фильтрующей одежды	Средняя интенсивность отказов, ч ⁻¹	Гарантированный срок использования, ч	Средний срок использования до списания, ч

Костюм (куртка и брюки)	$1,46 \cdot 10^{-5}$	68 490	87 600
Комбинезон	$1,66 \cdot 10^{-5}$	60 240	87 600

Из результатов натурных испытаний следует, что фильтрующая одежда по надежности соответствует предъявляемым требованиям. Рекомендуется использовать фильтрующую ЗО в составе комплектов (рис. 5).



Рисунок 5: Предложенный состав фильтрующих комплектов

Работник может непрерывно находиться в фильтрующем комплекте до 36 часов. Масса фильтрующей ЗО зависит от качества внешней ткани, меняется от двух до пяти килограмм, а комплекта - от трех до шести килограмм.

ВЫВОДЫ

Предложен способ оценивания эффективности мероприятий по повышению надежности защитной одежды. В конструкции фильтрующей защитной одежды предусмотрена усиленная дифференцированная защита наиболее уязвимых зон тела человека и повышена надежность путем внедрения однократного общего и смешанного раздельного резервирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябинин И.А.: *Надежность и безопасность структурно-сложных систем*. Политехника, Санкт-Петербург, (2000), 248 с.
2. Abrasion resistance of protective clothing material. BS EN 530:1995. London, BS. – 7 p.
3. Третьякова Л. Д.: Дослідження фізико-механічних характеристик нових полімерних матеріалів для захисного одягу, *Проблеми охорони праці в Україні*, (2007) Вип. 14, С. 59–67.
4. Третьякова Л.Д.; Гуленко А.О. Вплив виробничих факторів на умови використання засобів індивідуального захисту, *Вісник Національного технічного університету України «КПІ»*, Серія «Гірництво». (2011) Вип. 20, С. 252–257.