

Результаты работы были использованы для оценивания и оптимизации моделей многомерных объектов в реальном времени [4], а также при решении задач визуализации для медицинской диагностики [5].

Литература:

1. *Анохин А.М.* Программно-алгоритмическая реализация многомерного анализа variability параметров пульсового сигнала лучевой артерии / Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Variability сердечного ритма: теоретические и прикладные аспекты». – Чебоксары: ФГБОУ ЧГУ, 2014. – С. 10-13.
2. *Анохин А.М., Гусев В.Б., Павельев В.В.* Комплексное оценивание и оптимизация на моделях многомерных объектов. – М.: ИПУ РАН, 2012. – 84 с.
3. *Гусев В.Б., Павельев В.В.* Использование непрерывных шкал при оценивании и принятии решений в сложных проблемных ситуациях. – М.: ИПУ РАН, 2013. – 118 с.
4. *Gusev V.B., Anokhin A.M.* Method of diagnostics of the technological process in real time / Proceedings of the 10th International Conference MLSD. – Moscow: IEEE, 2017. – P. 1-4 [Электронный ресурс]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109637/> (дата обращения 22.10.2020).
5. *Desova A.A., Dorofeyuk A.A., Anokhin A.M.* Effects of Arterial Hypertension in Childhood and Adolescence by Analysis of the Pulse Signal in the Radial Artery//Biomedical Engineering. – 2017. – Vol. 50. № 5. – P. 339-343.

Евстифеев А.А.

Методы анализа безопасности газобаллонного оборудования на этапе эксплуатации

Аннотация: Применение компримированного природного газа на транспортных средствах является одним из направлений государственной политики в области замещения дорогих и экологически грязных видов топлива (бензина и дизельного топлива) более дешевым аналогом.

Газобаллонное оборудование для хранения природного газа на борту транспортного средства является источником потенциальной опасности. Обеспечение общественной безопасности при массовом использовании компримированного природного газа возможно только при наличии методов и средств анализа безопасности оборудования на всех этапах жизненного цикла. В данной статье представлены методы анализа безопасности газобаллонного оборудования на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: газобаллонное оборудование, компримированный природный газ, безопасность эксплуатации, логико-вероятностный анализ, деревья отказов

Газобаллонное оборудование в данной работе рассматривается как источник потенциальной опасности нанесения ущерба в результате разгерметизации при отказах и авариях, в процессе которых происходит интенсивное истечение природного газа, хранимого на борту транспортного средства в сосудах под давлением 20 МПа, и механическое воздействие элементами конструкции на людей, объекты придорожной инфраструктуры и соседние транспортные средства.

В работах [1, 2] показано, что безопасность является одним из основных свойств, определяющих возможность использования газобаллонного оборудования (ГБО) на транспортных средствах (ТС), передвигающихся по дорогам общего пользования. Показатели, характеризующие безопасность имеют вероятностную природу. Поэтому практически единственной общепризнанной методологией для выполнения комплексного качественного и количественного анализа уровня, достигаемого при проектировании и эксплуатации газобаллонного оборудования транспортных средств, является методология вероятностного анализа безопасности.

Графическое представление взаимосвязей отдельных задач методологии изображено на рисунке 1.

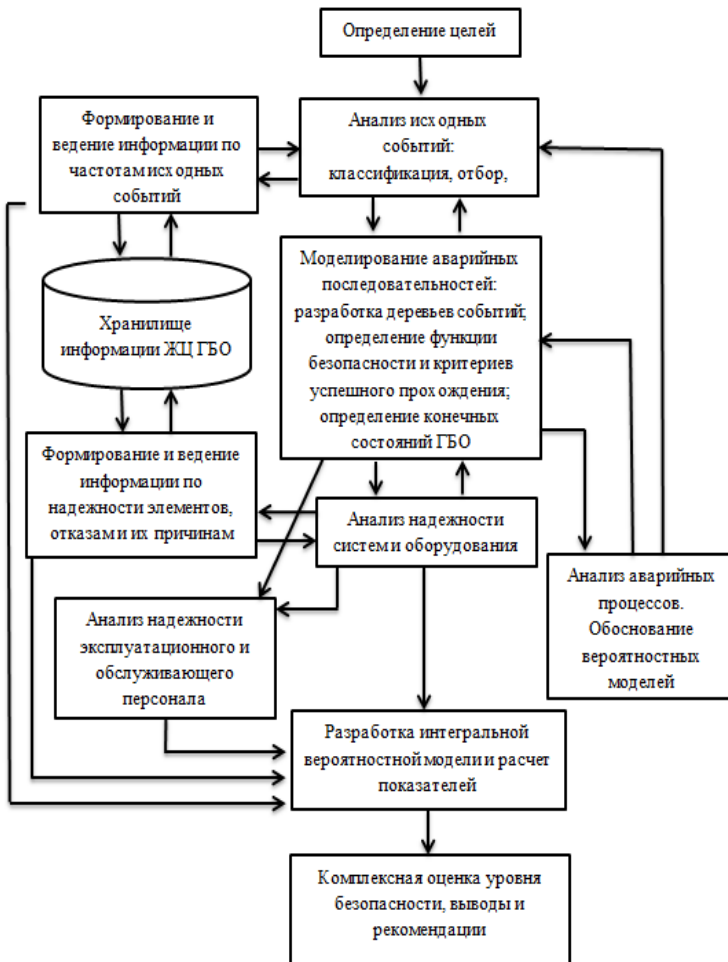


Рисунок 1 – Основные этапы методологии вероятностного анализа безопасности эксплуатации ТС с ГБО и их взаимосвязи

Основными комплексными показателями вероятностного анализа безопасности являются значения кумулятивных, т.е. оцененных по всем категориям инициирующих событий и эксплуатационных состояний, вероятностей или частот возникновения аварий с повреждениями ГБО на борту ТС.

По результатам анализа физических процессов, функций ГБО построены графы деревьев отказов для структурных единиц и ГБО в целом.

Итогом разработки дерева отказов на этапе эксплуатации ГБО является множество минимальных сечений, представляющих собой логические произведения k первичных событий, обуславливающих отказ ГБО. При этом произведение $k-1$ событий из набора k событий не должно приводить к отказу ГБО в целом (свойство минимальности). Набор минимальных сечений для удобства обработки хранится в базе данных в виде объединения наборов индексов соответствующих первичных событий.

Для N минимальных сечений и M первичных событий модели логическая функция неработоспособности ГБО представлена в виде

$$f(x_1, x_2, \dots, x_M) = \sum_{j \in \Delta_j} \prod x_j, \quad (1)$$

где Δ_j – набор индексов первичных событий, образующих i -е минимальное сечение. Набор минимальных сечений для конкретной реализации газобаллонного оборудования однозначно определен ее деревом отказов.[3] Для формирования, ведения и анализа дерева отказов разработано специальное программное обеспечение, поддерживающее логико-вероятностные методы анализа и имеющее средства построения деревьев отказов [4].

При определении количественных значений вероятности реализации минимальных сечений с отказами различных типов получено выражение для определения вероятности реализации l -го минимального сечения для ранее рассмотренных стратегий периодического контроля, имеющее вид

$$S_l(T) = \frac{1}{T} \sum_{\beta=1}^{T/t_0} \sum_{m'=1}^M \left[\int_{\varphi_{m'}}^{\varphi_{m'}+t_k} S_{l\beta m'}^1(\theta) d\theta + \right. \\ \left. + \int_{\varphi_{m'}+t_k}^{\varphi_{m'}+t_k+t_\delta} S_{l\beta m'}^2(\theta) d\theta + \int_{\varphi_{m'}+t_k+t_\delta}^{\varphi_{m'+1}} S_{l\beta m'}^3(\theta) d\theta \right] \quad (2)$$

где $\varphi_{m'=1}=0$; $\varphi_{M=1}=t_0$; $S_{l\beta m'}^1(\theta)$, $S_{l\beta m'}^2(\theta)$, $S_{l\beta m'}^3(\theta)$ – вероятность невыполнения заданных функций на участках времени контроля, допустимого времени восстановления и участке от окончания допустимого времени до начала проверки следующей линии,

которые входят в β -й интервал времени между очередными проверками линии с номером m' . Значения вероятности невыполнения заданных функций определяются с использованием выражения

$$S_{l\beta m'}^{1(2,3)}(\theta) = AP_{l\beta m'}^{1(2,3)}(\theta)AK_l(\theta + Z_{1(2,3)}) \times AN_l(\theta + Z_{1(2,3)}), \quad (3)$$

$$\text{где } z_1 = (\beta - 1)t_0 + \varphi_{m'}; z_2 = (\beta - 1)t_0 + \varphi_{m'} + t_{\kappa}; z_3 = (\beta - 1)t_0 + \varphi_{m'} + t_{\kappa} + t_{\delta}.$$

Для второй стратегии технического обслуживания и ремонта:

$$S_l(T) = \frac{1}{T} \sum_{\beta=1}^{T/t_0} \sum_{m'=1}^M \left[\int_{\varphi_{m'}}^{\varphi_{m'}+t_{\kappa}} S_{l\beta m'}^1(\theta) d\theta + \right. \\ \left. + J_{l\beta m'}(\theta) + \int_{\varphi_{m'}+t_{\kappa}+t_{\delta}}^{\varphi_{m'+1}} S_{l\beta m'}^3(\theta) d\theta \right]. \quad (4)$$

Показателем, характеризующим вероятность реализации l -го минимального сечения, входящего в L_{2j} , является вероятность совместного неработоспособного состояния $R_l(t_{pj})$ всех элементов, отказы которых составляют минимальное сечение в момент времени t на интервале $[0, t_{pj}]$ работы во время аварии при условии, что в начальный момент времени выполнения заданных функций безопасности все элементы находились в работоспособном состоянии

$$R_l(t_{pj}) = [1 - S_l(T)] \int_0^{t_{pj}} W_l(t) dt \approx \int_0^{t_{pj}} W_l(t) dt \quad (5)$$

где $W_l(t)$ – параметр потока отказов l -го минимального сечения при работе во время аварии.

Значение $W_l(t)$ определяется по формуле

$$W_l(t) = \sum_{i=1}^M \lambda_{pi}(t) \prod_{j \neq i} UB_j(t) \quad (6)$$

где M – число элементов, отказы которых составляют минимальное сечение; $\lambda_{pi}(t)$ – интенсивность отказов α -го элемента; $UB_j(t)$ – вероятность неработоспособного состояния j -го элемента.

При экспоненциальном законе надежности $UB_j(t)$ определяется по следующим формулам:

- невосстанавливаемый при работе во время аварии элемент

$$UB_j(t) = 1 - e^{-\lambda_{pi}t} \quad (7)$$

- восстанавливаемый при работе во время аварии элемент

$$UB_j(t) = \frac{\lambda_{pi}}{\lambda_{pi} + \frac{1}{T_{Bi}}} \quad (8)$$

где T_{Bi} – среднее время восстановления элемента.

Показателем, характеризующим вероятность реализации l -го минимального сечения, входящего в L_{3j} , является вероятность неработоспособного состояния всех элементов, отказы которых составляют минимальные сечения вследствие комбинации в режиме ожидания и на интервале выполнения заданных функций безопасности

$$UR_l(T, t_p) = S_{l_1}(T)[1 - S_{l_2}(T)]r_{l_2}(t'_p) \cong S_{l_1}(T)r_{l_2}(t'_p) \quad (9)$$

где $S_{l_1}(T)$ – вероятность неработоспособного состояния части элементов вследствие отказов; $r_{l_2}(t'_p)$ – вероятность неработоспособного состояния остальной части элементов вследствие отказов при работе во время аварии; $t'_p = t_p$ – если все элементы, отказавшие в режиме ожидания, являются невосстанавливаемыми при работе во время аварии.

Если минимальное сечение содержит A_{l1} отказов элементов, возникших в режиме ожидания и устраняемых во время аварии, то значение t'_p определяется по формуле

$$t'_p = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{Bi}, \quad (10)$$

где t_{Bi} – среднее время восстановления i -го элемента при работе во время аварии.

После определения показателей неготовности всех минимальных сечений, полученных из деревьев отказа, с использованием расчетной программы определяется вероятность невыполнения заданных функций рассматриваемого ГБО. Данные показатели являются частью критерия принятия решения о безопасности эксплуатации ТС с ГБО.

Литература:

1. *Евстифеев А.А.* Математическая модель процесса заправки транспортных средств КПП на АГНКС//Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 1 (37). – С. 24-31.

2. *Евстифеев А.А.* Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС//Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 3 (39). – С. 53-60.

3. *Евстифеев А.А.* Математическая модель анализа потребности в КПП и СПГ на вновь газифицируемых территориях//Газовая промышленность. – 2013. – № 1 (685). – С. 87-88.

4. *Евстифеев А.А.* Расчет надежности системы поставок газового моторного топлива потребителям//Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 4 (34). – С. 61-65.

Шилин С.А.

**Повышение надежности жизненно значимого агрегата
средством своевременного выявления внезапного отказа
элемента конструкции изделия**

Аннотация: С целью выявления внезапно отказавшего элемента конструкции изделия предлагается непрерывное наблюдение за суммарной переходной характеристикой совокупности динамических звеньев, моделирующих жизненно значимый агрегат.

По изменению качества переходной функции в результате отказа конкретного звена динамической системы выявляется дефектный элемент конструкции, определяется момент его выхода из строя, а, следовательно, начало форсированной выработки ресурса аварийного узла. Используя эти данные можно своевременно парировать последствия внезапного отказа, делать более качественные заключения о первопричине нарушения работоспособности агрегата, а также об изменении ресурсного состояния летательного аппарата на протяжении его жизненного цикла.

Ключевые слова: жизненно значимый агрегат, суммарная переходная характеристика, совокупность динамических звеньев, ресурсное состояние изделия