

УДК 631.436-73.62

ВЛИЯНИЕ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФИЛЬТРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МТА

Вороновский И.Б., инж.,

Орел А.Н., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 44-02-74; (0619) 42-25-85

Аннотация – представлен анализ схем расположения фильтров энергетических средств МТА и их влияние на надежность двигателя в зависимости от загрязненности топлива.

Ключевые слова – дизельное топливо, надежность, износ, топливная система, фильтрующие элементы, загрязненность.

Постановка проблемы. Ведущим видом изнашивания прецизионных деталей топливоподающей аппаратуры является абразивный. Работоспособность топливной аппаратуры зависит от изношенности ее прецизионных деталей, в частности плунжерных пар. Состояние плунжерных пар в свою очередь зависит от исходного зазора в парах, их наработки, а также от эксплуатационных факторов. Поэтому повышения надежности энергетических средств МТА в значительной степени зависит от загрязненности дизельного топлива и схем соединения фильтрующих элементов топливных систем, позволяющих эффективно очищать топливо от воды и механических примесей.

Анализ последних исследований. Работы В.В. Антипова, М.А. Бабичева, Д.Ф. Гуревича, М.М. Ташпулатова, М.М. Хрущева, посвященные теории износа плунжерных пар, далеко не полно раскрывают большое многообразие сложных и скоротечных процессов, которые происходят при износе деталей плунжерных пар [1, 2, 3, 4].

В зависимости от условий эксплуатации МТА, концентрация пыли в воздухе колеблется в широких пределах и в некоторых районах юга Украины достигает 5 г/м^3 . Это отрицательно влияет на работоспособность систем двигателя, в том числе на работоспособность топливной аппаратуры. При работе МТА при запыленности воздуха $1,1 \dots 2,5 \text{ г/м}^3$ содержание загрязняющих примесей в топливе к моменту его выработки в 2-3 раза больше, чем при заправке.

Формулирование цели статьи. Целью статьи является модели-

рование надежности топливных систем разных типов с использованием графов их состояния применяя математическую модель марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Основная часть. Топливные фильтры двигателей не обеспечивают достаточной степени очистки топлива от механических примесей и воды, которые затем проникают к прецизионным деталям топливной аппаратуры. Вместе с тем загрязнению топлива способствует и то, что во время работы МТА в объёме бака создается разрежение и туда подсасывается пыль. То есть, в топливных баках имеет место "большое дыхание" при расходе топлива во время работы дизеля и "малое дыхание" при температурных расширениях топлива.

В топливных системах дизельных двигателей предусмотрена многоступенчатая очистка топлива: предварительная – при заправке топливного бака; грубая – в фильтрах грубой очистки на двигателе; окончательная (тонкая) – в фильтрах тонкой очистки на двигателе.

По количеству и расположению средств очистки топливные системы дизелей сельскохозяйственной техники можно разделить на три группы: с последовательным расположением фильтрующих элементов (рис. 1); с параллельным расположением (рис. 2) и комбинированным расположением фильтрующих элементов (рис. 3).

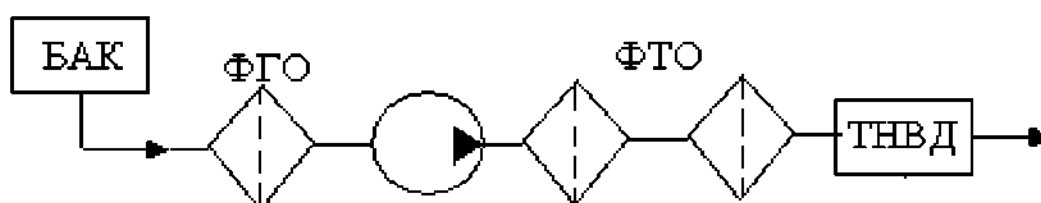


Рис. 1. Схема топливной системы с последовательным расположением фильтрующих элементов (ФГО – фильтр грубой очистки; ФТО – фильтр тонкой очистки; ТНВД – топливный насос высокого давления).

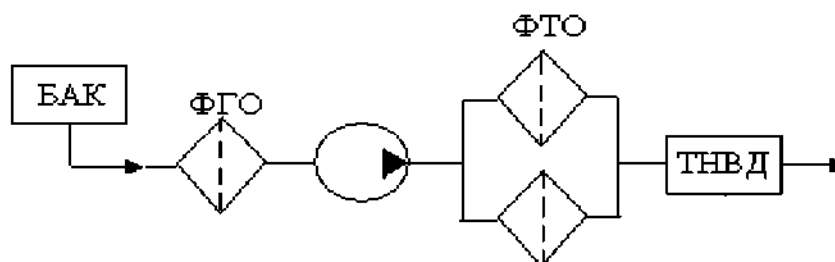


Рис. 2. Схема топливной системы с параллельным расположением фильтров тонкой очистки.

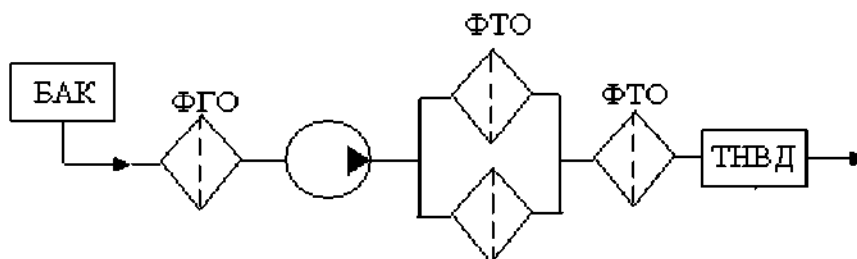


Рис. 3. Схема топливной системы с комбинированным расположением фильтров тонкой очистки топлива.

К первой группе, относятся топливные системы тракторов «Алис-Чалмер Д-17» (США), «Ченто-Феррари» (Италия).

Ко второй группе относятся системы тракторов и зерноуборочных комбайнов фирм «Кейс», «Катерпиллер», «Массей-Фергюсон 250-х», «Массей-Харрис 333», «Зетор-ЗОП», Т - 40, МТЗ - 82, К - 701.

К третьей группе относятся топливные системы трактора Т - 150К, зерноуборочных комбайнов Джон-Дир и др.

Выполним теоретическую оценку надежности различных типов топливных систем, представленных на рис. 1 – 3.

Топливную систему представим в виде графа состояний, который для 1 группы (рис. 1) будет иметь вид, представленный на рис. 4.

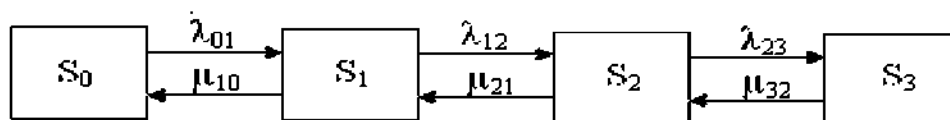


Рис. 4. Граф состояний топливной системы с последовательным соединением фильтров тонкой очистки: S_0 – исправное состояние топливной системы; S_1 – выход из строя фильтра грубой очистки; S_2, S_3 – выход из строя фильтров тонкой очистки.

Примем, что поток отказов фильтров простейший и время между отказами в этом потоке распределяется по показательному закону и определяется параметрами интенсивности отказов

$$\lambda = 1/t_{\delta}, \quad (1)$$

где t_{δ} – среднее время безотказной работы фильтра.

По стрелкам вправо систему из состояния в состояние переводят отказы (λ), а по стрелкам влево – ремонты с интенсивностью восстановления (μ)

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \quad (2)$$

где t_p – среднее время восстановления исправного состояния заменой фильтра.

Применяя правило Колмогорова, запишем систему дифференциальных уравнений вероятностей для графа состояний (рис. 4):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0}{dt} &= -\lambda_{01} p_0 + \mu_{10} p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} &= \lambda_{01} p_0 - \lambda_{12} p_1 + \mu_{12} p_2 - \mu_{10} p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} &= \lambda_{12} p_1 - \mu_{21} p_2 - \lambda_{23} p_2 + \mu_{32} p_3 \\ \frac{dp_3}{dt} &= \lambda_{23} p_2 - \mu_{32} p_3 \end{aligned} \right\} \cdot \quad (3)$$

Полагая левые части равными нулю, получим систему алгебраических уравнений предельных состояний. Используя нормировочное условие $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1$, а также условие, что при $t=0$, $p_0=1$, получим выражения для определения вероятности нахождения топливных фильтров в исправном состоянии для первой группы

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}}}. \quad (4)$$

Вероятность отказа фильтра грубой очистки

$$P_{1П} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0П}. \quad (5)$$

вероятность отказа фильтра тонкой очистки, фильтр №2

$$P_{2П} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П}. \quad (6)$$

вероятность отказа фильтра тонкой очистки, фильтр №3

$$P_{3П} = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П}. \quad (7)$$

Применяя аналогичный математический аппарат, получим формулы для определения вероятностей состояний топливной системы второй группы - с параллельным соединением фильтров тонкой очистки (рис. 2). Топливную систему второй группы (рис. 2), представим в виде графа состояний (рис. 5):

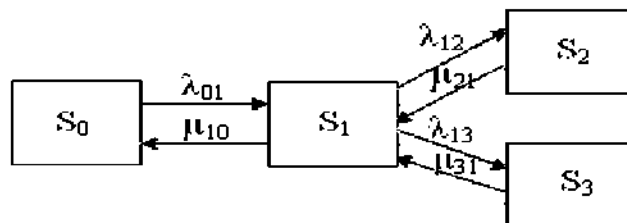


Рис. 5. Граф состояний топливної системи з паралельним соединением фильтров тонкой очистки.

Опустив математические преобразования, запишем окончательные формулы для определения вероятности нахождения системы в исправном состоянии

$$P_{0ПР} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}}} \tag{8}$$

вероятность отказа фильтра грубой очистки

$$P_{1ПР} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0ПР} \tag{9}$$

вероятность отказа фильтров тонкой очистки:

$$P_{2ПР} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0ПР} \tag{10}$$

$$P_{3ПР} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} P_{0ПР} \tag{11}$$

Для системы с комбинированным расположением фильтров – третья группа (рис. 3), граф состояний представим в виде (рис. 6):

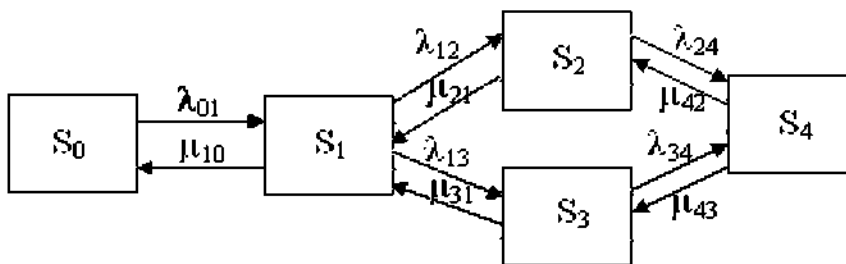


Рис. 6. Граф состояний топливної системи з комбинированным соединением фильтров тонкой очистки.

Окончательные формулы для определения вероятностей состояния имеют вид.

Вероятность нахождения в исправном состоянии

$$P_{0K} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{24}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{42}\mu_{21}\mu_{10}}}. \quad (12)$$

вероятность отказа фильтра грубой очистки

$$P_{1K} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0K}. \quad (13)$$

вероятность отказа фильтров тонкой очистки соединенных параллельно, №2 и №3:

$$P_{2K} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0K}, \quad (14)$$

$$P_{3K} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} P_{0K}. \quad (15)$$

вероятность отказа фильтра тонкой очистки соединенного последовательно, №4

$$P_{4K} = \frac{\lambda_{24}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{42}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0K}. \quad (16)$$

В качестве альтернативы рассмотрим разветвленную схему соединения дополнительных фильтров тонкой очистки включенных параллельно, которая представлена на рис. 7:

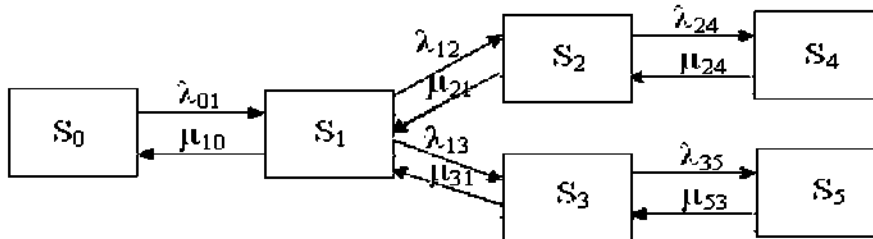


Рис. 7. Граф состояний разветвленной топливной системы с дополнительными фильтрами соединенными параллельно.

Согласно приведенного графа состояний для топливной системы представленной на рис. 7 получим следующие формулы.

Вероятность нахождения системы в исправном состоянии

$$P_{0P} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{24}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{42}\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{35}\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{53}\mu_{31}\mu_{10}}}. \quad (17)$$

вероятность отказа фильтра грубой очистки

$$P_{1P} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0P}. \quad (18)$$

вероятность отказа фильтров тонкой очистки №2 и №3:

$$P_{2P} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0P}, \quad (19)$$

$$P_{3P} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} P_{0P}. \quad (20)$$

вероятность отказа фильтра тонкой очистки №4 и №5:

$$P_{4P} = \frac{\lambda_{24}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{42}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0P}, \quad (21)$$

$$P_{5P} = \frac{\lambda_{35}\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{53}\mu_{31}\mu_{10}} P_{0P}. \quad (22)$$

Выполним теоретический расчет вероятностей различных схем расположения фильтров топливных систем по формулам (4 - 22) при единых начальных условиях: - сроки замены фильтров один раз в сезон (шесть месяцев), т.е. $\lambda=1/6$, при этом интенсивность воздействия на фильтры распределяется неравномерно. Например, для топливной системы на рис. 1, фильтр грубой очистки подвергается максимальному воздействию загрязнения, т.е. $\lambda_{01}=3/6$, а последующие два фильтра тонкой очистки с интенсивностью $\lambda_{12}=2/6$, $\lambda_{23}=1/6$.

Интенсивность восстановления распределяется аналогично:

$$\mu_{32}=1/1=1; \mu_{21}=2/1=2; \mu_{10}=3/1=3.$$

из расчета, что время на замену одного фильтра составляет один час.

Подставляя приведенные интенсивности λ и μ в формулы (4 - 22), получим вероятности нахождения топливных систем различных схем расположения фильтров (рис. 1 - 7), в исправном состоянии p_0 и вероятности выхода из строя фильтров $p_{1...5}$.

Результаты расчета представим таблично (табл. 1).

Таблиця 1 - Результати расчета вероятностей исправного состояния p_0 и вероятностей отказов фильтров $p_{1...5}$.

Схема соединения фильтров в топливной системе	Вероятность исправного состояния системы p_0	Вероятность отказа ФГО, p_1	Вероятность отказа ФТО №1, p_2	Вероятность отказа ФТО №2, p_3	Вероятность отказа ФТО №3, p_4	Вероятность отказа ФТО №4, p_5
Последовательное соединение фильтров	0,835	0,139	0,023	0,0038	-	-
Параллельное соединение фильтров	0,7	0,175	0,058	0,058	-	-
Комбинированное соединение фильтров	0,816	0,136	0,022	0,022	0,0036	-
Разветвленное соединение с дополнительными фильтрами тонкой очистки соединенными параллельно	0,813	0,135	0,022	0,022	0,0036	0,0036

Анализ табл. 1 позволяет сделать следующие выводы:

1. Максимальной вероятностью нахождения фильтров в исправном состоянии обладает система с последовательным соединением фильтров, ($p_0=0,835$).

2. Увеличение количества фильтров тонкой очистки и включение их в схему топливоподачи параллельно, не увеличивает вероятности исправного состояния системы, такой путь является мало эффективным.

3. Максимальную вероятность отказа из всех фильтров имеет фильтр грубой очистки, особенно при параллельном соединении фильтров тонкой очистки ($p_1=0,175$), а затем, на порядок меньше, фильтры тонкой очистки.

Исходя из полученных теоретических данных, можно сделать вывод, что наиболее эффективной системой расположения фильтров следует считать последовательное соединение, состоящее из фильтра-вододетелителя (фильтра грубой очистки) и двух фильтров тонкой очистки (ФТО) топлива [5, 6].

Используя полученные значения можно оценить вероятность исправного состояния топливной системы p_0 , вероятность отказа фильтра-вододетелителя (ФВ) p_1 и тонкой очистки p_2, p_3 , которые соединены последовательно.

Для расчета вероятностей воспользуемся полученными формулами изложенными ранее.

Исходные данные для расчета.

Интенсивность восстановления (замены) фильтров μ не изменилась, так как не изменилось время на демонтаж и монтаж фильтров, следовательно, $\mu_{32}=1$; $\mu_{21}=2$; $\mu_{10}=3$.

Интенсивность отказов изменилась, так как время безотказной работы увеличилось в 2 раза:

$$\lambda_{10}=3/12; \lambda_{12}=2/12; \lambda_{23}=1/12.$$

Подставляя полученные значения в формулу (4) получим вероятность нахождения фильтров в исправном состоянии

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{0,25}{3} + \frac{0,25 \cdot 0,166}{3 \cdot 2} + \frac{0,125 \cdot 0,166 \cdot 0,083}{3 \cdot 2 \cdot 1}} = 0,922 .$$

Вероятность отказа фильтра-водотделителя, формула (5)

$$P_{1П} = \frac{0,25}{3} 0,922 = 0,0765 .$$

вероятность отказа ФТО №2, формула (6)

$$P_{2П} = \frac{0,25 \cdot 0,166}{3 \cdot 2} 0,922 = 0,00063 .$$

вероятность отказа ФТО №3, формула (7)

$$P_{3П} = \frac{0,25 \cdot 0,166 \cdot 0,083}{3 \cdot 2 \cdot 1} 0,922 = 0,000529 .$$

Выводы. Как следует из приведенных расчетов применение разработанного фильтра-водоотделителя увеличивает вероятность исправного состояния топливной системы с $p_0=0,835$ до $p_0=0,922$.

При этом необходимо разработать мероприятия по повышению эффективности работы фильтра-водотделителя, улучшив фильтрующие, коагулирующие и водоотталкивающие свойства. Такие мероприятия позволят уменьшить вероятность отказа ФТО, обеспечив их надежную работу около 1500 моточасов (выполнение ТО-3) [5, 6].

Литература

1. *Антипов В.В.* Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей / *В.В. Антипов.* -2-е изд. – М. : Машиностроение, 1992.-Т.1. - 816 с.

2. Гуревич Д.Ф. Основы теории износа плунжерных пар / Д.Ф. Гуревич // Автомобильная промышленность, 1968. – № 2. с. 20-24.
3. Тишпулатов М.М. Обеспечение работоспособности топливоподающей аппаратуры дизелей / М.М. Тишпулатов. – Ташкент: Фан, 1990. - 128 с.
4. Григорьев М.А. Обеспечение надежности двигателей / М.А. Григорьев, В.А. Донецкий. – М.: Стандарты, 1978. -324 с.
5. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник / В.М. Кюрчев., І.Б. Вороновський - № 66522. Опубл. 17.05.04., Бюл. № 5. - 4 с.
6. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник / І.Б. Вороновський, Б.І. Вороновський - № 5544. Опубл. 15.03.05 р., Бюл. № 3. – 4 с.

ВПЛИВ СХЕМ РОЗТАШУВАННЯ ФІЛЬТРІВ НА НАДІЙНІСТЬ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДВИГУНІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ МТА

Вороновський І.Б., Орел О.М.

Анотація – наданий аналіз схем розташування фільтрів енергетичних засобів МТА та їх вплив на надійність двигунів в залежності від забрудненості дизельного палива.

INFLUENCE OF LAYOUT OF FILTERS CHARTS ON RELIABILITY OF FUEL SYSTEMS OF ENGINES OF POWER FACILITIES OF MTA

I. Voronovsky, A. Orel

Summary

The analysis of layout of filters of power facilities of MTA and their influence charts is presented on reliability of engine depending on muddiness of fuel.