

УДК 631.436

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ИЗНОСА ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ МТА

Вороновский И.Б., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел/факс 8(0619)44-02-74

Аннотация – в работе обосновано влияние надежности топливной системы дизельного двигателя на эффективность (МТА) в зависимости от загрязненности дизельного топлива.

Ключевые слова – дизельное топливо, топливная система, МТА, граф состояний, интенсивность и вероятность событий, отказ, надежность, загрязнения.

Постановка проблемы. Мобильный машинно-тракторный агрегат (МТА) представляет собой систему, состоящую из ряда подсистем. К таким подсистемам, выполняющим самостоятельные функции, относится топливная система дизельного двигателя, которая, в свою очередь также может быть представлена, как система, состоящая из более мелких подсистем. Надежность машинно-тракторного агрегата зависит от надежности каждой из подсистем, а также от способа их соединения в общую систему.

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. Иногда применяется дополнительная очистка в предохранительных фильтрах форсунок.

Анализ последних исследований. Важные методические аспекты обоснования увеличения сроков службы деталей и узлов, работающих в среде ТСМ, предложили А.А. Гуреев, Г.Ф. Большаков, К.В. Рыбаков, Г.П. Лышко, Н.К. Итинская, и др. Эксплуатационная надежность узлов сельскохозяйственной техники, работающих в среде ТСМ, рассматривалась в работах М.А. Григорьева, Е.Н. Жулдыбина, А.В. Кузнецова, А.И. Селиванова, В.А. Дидура [2] и других.

Формулирование цели статьи. Целью статьи является обоснование влияния надежности топливной системы дизельного двигателя на функциональные характеристики работы МТА в зависимости от

износа плунжерных пар ТНВД и загрязненности дизельного топлива механическими примесями и водой.

Основная часть. 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. Топливные фильтры тракторных дизелей не обеспечивают достаточной степени очистки топлива от механических примесей, которые проникают к прецизионным деталям топливной аппаратуры [1, 3, 4].

По количеству и расположению средств очистки топливные системы дизелей с/х техники можно разделить на три группы: с последовательным расположением фильтрующих элементов, с параллельным расположением и комбинированным расположением.

Для моделирования надежности топливных систем различных типов с помощью графов их состояния (рис. 1, а-в), использована математическая модель марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем, согласно которой: 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

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

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

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

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

где t_p – среднее время восстановления исправного состояния заменой фильтра.

Применяя правило Колмогорова [5], запишем систему дифференциальных уравнений вероятностей состояний для рис. 1 а-в:

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

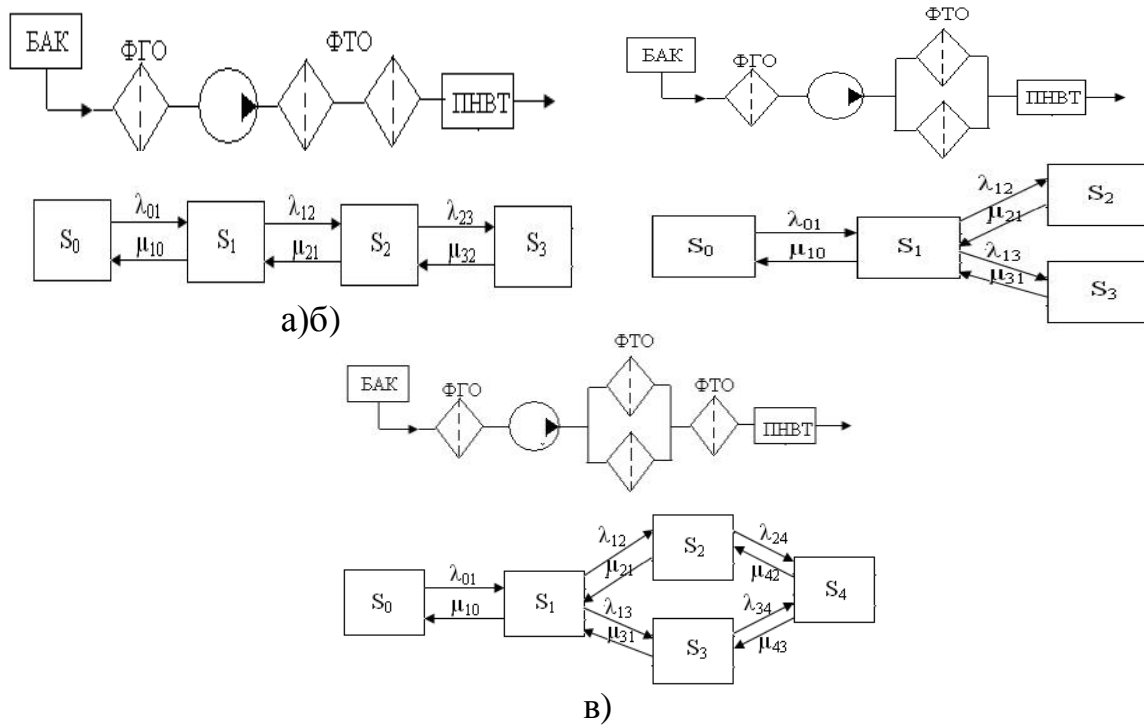


Рис.1. Схема соединения элементов топливных систем и графы их состояния: а – последовательным соединением фильтров тонкой очистки; б – с параллельным соединением фильтров тонкой очистки; в – с комбинированным соединением фильтров тонкой очистки ΦГО – фильтр грубой очистки; ΦТО – фильтр тонкой очистки.

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 систем в исправном состоянии:

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

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

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

Применяя аналогичный математический аппарат, получим формулы для определения вероятностей состояний топливной системы с параллельным и комбинированным соединением фильтрующих элементов (рис. 1, б и 1, в).

Опустив математические преобразования, запишем окончательные формулы для определения вероятности нахождения системы в исправном состоянии рис. 1, б:

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

вероятность отказа фильтра грубой очистки

$$P_{1ПР} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0ПР}; \quad (9)$$

вероятность отказа фильтров тонкой очистки:

$$P_{2ПР} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0ПР}; \quad (10)$$

$$P_{3ПР} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{31}\mu_{10}} P_{0ПР}. \quad (11)$$

Окончательные формулы для определения вероятностей имеют вид для схемы расположения рис. 2, в.

Вероятность нахождения в исправном состоянии:

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

вероятность отказа фильтра грубой очистки

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

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

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

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

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. 2.

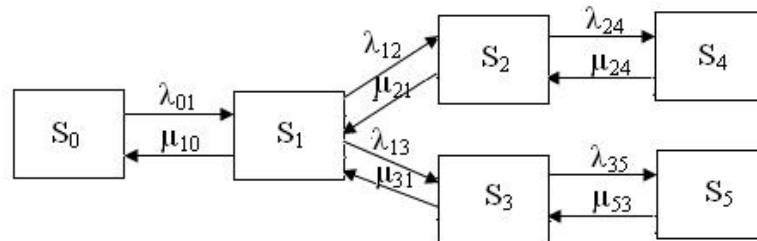


Рис. 2. Граф состояний разветвленной топливной системы с дополнительными фильтрами соединенными параллельно.

Согласно приведенного графа состояний топливной системы на рис. 2 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

$$p_{4P} = \frac{\lambda_{24}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{42}\mu_{21}\mu_{10}} p_{0P}; \quad (22)$$

$$p_{5P} = \frac{\lambda_{35}\lambda_{13}\lambda_{01}}{\mu_{53}\mu_{31}\mu_{10}} p_{0P}. \quad (23)$$

Выполним теоретический расчет вероятностей различных схем топливных систем по формулам (1...23) 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. 2.а, 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 (1...23), получим вероятности нахождения топливных систем различных схем соединения фильтров, рис. 2 и рис. 3 в исправном состоянии p_0 и вероятности выхода из строя фильтров $p_{1...5}$.

Результаты расчета представим таблично (табл. 1).

Таблица 1– Результаты расчета вероятностей исправного состояния p_0 и вероятностей отказов фильтров $p_{1...5}$

Схема соединения фильтров в топливной системе	Вероятность состояния системы p_0	Вероятность отказа ФГО, p_1	Вероятность отказа ФГО №1, p_2	Вероятность отказа ФГО №2, p_3	Вероятность отказа ФГО №3, p_4	Вероятность отказа ФГО №4, p_5
Последовательное соединение фильтров, рис. 2.1	0,835	0,139	0,023	0,0038	-	-
Параллельное соединение фильтров, рис. 2.2	0,7	0,175	0,058	0,058	-	-
Комбинированное соединение фильтров, рис. 2.3	0,816	0,136	0,022	0,022	0,0036	-
Разветвленное соединение с дополнительными ФГО, рис. 2.7	0,813	0,135	0,022	0,022	0,0036	0,0036

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 следует, что наиболее эффективной системой соединения фильтров следует считать последовательное соединение, состоящее из фильтра грубой очистки и двух фильтров тонкой очистки.

Литература

1. Григорьев М.А. Обеспечение надежности двигателей /М.А. Григорьев, В.А. Донецкий. –М.: Стандарты, 1978. –324 с.
2. Дідур В.А. Вплив забрудненості дизельного палива на ефективність використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) / В.А. Дідур, В.В. Дідур, І.Б. Вороновський // Праці ТДАТА. – 2005. – Вип. 33. – С.3-13.
3. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях /М.А. Григорьев. –М.: Машиностроение, 1970. –270 с.
4. Кацук А.С. Практикум по техническому обслуживанию трактора / А.С. Кацук. –Глеваха: ИМЭСХ, 2002.–109 с.
5. Венцель Е.С. Исследование операций / Е.С.Венцель.– М.: Советское радио, 1972.– 552 с.

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЗНОСУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА МТА

Вороновський І.Б.

Анотація

В роботі обґрунтований вплив надійності паливної системи дизельного двигуна на ефективність роботи (МТА) залежно від забрудненості дизельного палива.

DESIGN OF RELIABILITY AND WEAR OF FUEL SYSTEM OF DIESEL ENGINE OF MTA

I.Voronovskiy

Summary

Influence of reliability of the fuel system of diesel engine is in-process grounded on efficiency (MTA) depending on muddiness of fuel-oil.