



PROBABILISTIC-STATISTICAL PROCESSING OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A CENTRIFUGAL OIL FILTER FOR THE UZTE16M DIESEL LOCOMOTIVE

Kasimov Obidzhon Toirdzhonovich¹
Keldibekov Zokirbek Olloberdievich²

¹candidate of technical sciences, associate professor of the Department of "Locomotives and locomotive equipment",
²assistant of the Department of "Locomotives and locomotive equipment", State Transport University, Uzbekistan, Tashkent
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18454231>

ARTICLE INFO

Received: 24th January 2026
Accepted: 30th January 2026
Online: 31st January 2026

KEYWORDS

Diesel engines of diesel locomotives, diesel oil system, centrifugal oil filter of a diesel locomotive, probabilistic-statistical processing of the results of experimental studies, algorithm, program for the MATHCAD 15 programming environment.

ABSTRACT

The article presents the results of probabilistic-statistical processing of the results of experimental studies of the centrifugal oil filter of the UzTE16M diesel locomotive, allowing to evaluate the efficiency of its operation and the quality of filtering out particles of different sizes during operation; numerical studies were carried out in the MATHCAD 15 programming environment.

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО МАСЛЯНОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Касимов Обиджон Тоирджонович¹
Келдибеков Зокирбек Оллобердиевич²

¹доктор (PhD) технических наук, доцент кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство"

²ассистент кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство", Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18454231>

ARTICLE INFO

Received: 24th January 2026
Accepted: 30th January 2026
Online: 31st January 2026

ABSTRACT

В статье представлены результаты вероятностно-статистической обработки результатов экспериментальных исследований центробежного масляного фильтра дизеля тепловоза UzTE16M, позволяющие оценить эффективность его работы и качество отсева частиц разных размеров в процессе эксплуатации, численные исследования проведены в среде программирования MATHCAD 15.



KEYWORDS

*Дизельные двигатели
локомотивов, дизельная
масляная система,
центробежный масляный
фильтр дизеля тепловоза,
вероятностно-
статистическая
обработка результатов
экспериментальных
исследований, алгоритм,
программа для среды
программирования
MATHCAD 15.*

Анализ литературных источников показал, что фильтрация масла тепловозных дизелей имеет ряд особенностей [1,2,3]. Одним из основных видов износа деталей дизелей является абразивный износ. От качества фильтрации дизельного масла в большей степени зависит наличие в нем абразивных примесей. В связи с этим актуальными являются исследования по изучению процесса очистки масла тепловозных дизелей в фильтрах с оптимизацией параметров по выбору оптимального качества отсева частиц разных размеров в процессе эксплуатации. Оптимизация параметров комбинированного масляного фильтра осуществлена по условию минимизации эксплуатационных расходов, связанных с эффективностью функционирования системы очистки масла в дизелях.

Нами в статье [4] была представлена разработанная новая методика для расчета масляного фильтра дизеля локомотива, которая включает в себя определение оптимального размера, пропускной способности и тонкости фильтрации в зависимости от характеристик двигателя, условий эксплуатации и типа используемого масла. Далее в статье [5] даны математическая модель для моделирования работы центробежного масляного фильтра дизеля тепловоза и представлены результаты численного моделирования, выполненного в среде программирования MATHCAD 15. А в статье [6] ранее представленная математическая модель [5] усложняется и в динамике выполняется численный расчет крутильных колебаний деталей центробежного масляного фильтра дизелей тепловозов в виде дискретной пятимассовой системы в среде программирования MATHCAD 15.

Целью экспериментальных исследований является определение функциональных параметров центробежного масляного фильтра дизеля тепловоза, при которых будет достигнута его способность эффективно защищать двигатель от абразивного изнашивания и обеспечивать необходимую надежность функционирования системы «дизель-топливо-масло», а также сравнительный



анализ результатов численного моделирования и экспериментальных исследований.

Основу предлагаемого моделирования составляют зависимости по скорости изнашивания I основных деталей дизелей локомотивов и срока службы $T_{ФЭ}$ центробежного фильтра, полученные путём обобщения экспериментальных результатов [4]. Эти показатели в некоторой степени могут совокупно характеризовать эффективность комбинированного центробежного масляного фильтра при его функционировании в системе смазки дизеля. Системное взаимодействие фильтра со звеньями системы «дизель-топливо-масло» подтверждает, что существуют значения D_H и g_{ϕ} , при которых ресурсные и экономические, по расходу масла и сроку службы фильтрующих элементов, показатели дизеля самые высокие.

Анализ результатов испытаний комбинированного центробежного масляного фильтра позволил заключить, что основными параметрами его эффективности могут выступать тонкость отсева D_H и удельная интенсивность очистки g_{ϕ} , приходящаяся на единицу загрязнения масла от нерастворимых продуктов. Параметр g_{ϕ} может регулироваться скоростью фильтрации потока масла через фильтрующие элементы, их тонкостью отсева, подбором характеристик применяемого фильтровального материала [4,5,6].

При моделировании уровни и интервалы варьирования факторов, характеризующих эффективность комбинированного фильтрования масла, а также условия функционирования комбинированного центробежного масляного фильтра в составе комплекса системы «дизель-топливо-масло», приведены в таблице 1. Рангом 0 закодирован комбинированного центробежного масляного фильтра (ФМЦК), номинальная тонкость отсева полнопоточной секции которого составляет 30 мкм. Тонкость отсева 15 и 45 мкм для полнопоточных фильтрующих элементов (ФЭ) с предельными (минимальным и максимальным) значениями D_H , которые характерны для комбинированного масляного фильтра (ФМК), обозначены рангами -1 и +1

Уровни и интервалы варьирования факторов Таблица 1.

| Фактор | Кодовое значение | Интервал варьирования | Уровни факторов | | |
|--|------------------|-----------------------|-----------------|------------|------------|
| | | | Нижний | основной 0 | Верхний +1 |
| Номинальная тонкость отсева D_H , мкм | x_1 | 15 | 15 | 30 | 45 |
| Удельная интенсивность очистки g_{ϕ} , отн. ед. | x_2 | 40 | 0 | 40 | 80 |



| | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------|-----|------|-----|
| Форсировка дизеля p_{me} , МПа | x_3 | 0,75 | 0,5 | 1,25 | 2,0 |
| Качество топлива K_T , отн. ед | x_4 | 0,9 | 0,2 | 1,1 | 2,0 |
| Качество масла M , ранг | x_5 | 1 | -1 | 0 | +1 |

В качестве функции отклика при построении в обобщённой модели полного комплекса системы «фильтр–дизель–топливо–масло» (ФДТМ) взяты скорость изнашивания дизеля I и срок службы $T_{фэ}$ полнопоточных фильтрующих элементов комбинированного фильтра. Интегральный показатель I представляет в безразмерном виде, относительно средней базы отчёта ($x_1=0$), скорость изнашивания цилиндрических втулок, поршневых колец и вкладышей подшипников. В показателе I скорости изнашивания разных деталей объединены при одинаковых значениях коэффициента весомости скорости изнашивания каждой группы пар трения. Скорость изнашивания деталей фиксировалась взвешиванием и методом искусственных баз [7].

Срок службы фильтрующих элементов оценивался по данным статистической обработки значений этого показателя при длительных эксплуатационных испытаниях дизелей локомотивов. Он приведён в относительных единицах (%) относительно базового варианта полного комплекса «фильтр–дизель–топливо–масло» ФДТМ ($x_1=0$), который определялся сроком работы элементов при достижении на рабочих режимах системы смазки (СС) перепада давлений на фильтре 0,18 МПа [1].

Для математического описания рассматриваемых процессов выбран полином второй степени. На основе априорной информации при планировании эксперимента предложено использовать некомпозиционный план второго порядка для пяти факторов [7].

Функции отклика I и $T_{фэ}$ определялись по расчётным зависимостям, приведенным в исследованиях [5,6]. Они получены путём сращивания моделей, идентифицирующих экспериментальные данные лабораторных и эксплуатационных испытаний дизелей, системы смазки (СС) которых оборудованы комбинированным масляным фильтром (ФМК).

Математическая обработка этих результатов методом наименьших квадратов проводилась с целью сглаживания данных разноплановых экспериментов при достройке моделей [5,6] и их объединении с аппроксимацией некоторых промежуточных значений рассматриваемых функций отклика в исследуемом факторном пространстве.

Величины $\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{ji} y_j$ при числе опытов $N = 55$, необходимые для расчёта коэффициентов уравнений получены по формулам, изложенным в учебном пособии [7]. Уравнения регрессии по функции отклика скорости изнашивания I



основных деталей двигателей (дизелей) и срока службы $T_{\text{ФЭ}}$ центробежного фильтра при представлении факторов в натуральном виде имеют вид

$$\begin{aligned} I = & 138,9 - 12,43 \cdot \Delta_H - 1,41 \cdot g_\varphi + 101,1 \cdot p_{me} + 92,71 \cdot K_T - \\ & - 78,42 \cdot M + 0,04 \cdot \Delta_H \cdot g_\varphi + 1,68 \cdot \Delta_H \cdot M - 1,18 \cdot p_{me} \cdot g_\varphi - \\ & - 0,65 \cdot K_T \cdot g_\varphi + 0,22 \cdot M \cdot g_\varphi + 22,1 \cdot K_T \cdot p_{me} + 0,21 \cdot \Delta_H^2 + \\ & + 0,02 \cdot g_\varphi^2 - 10,67 \cdot p_{me}^2 - 16,23 \cdot K_T^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнение (1) зависимости срока службы элементов $T_{\text{ФЭ}}$ от рассматриваемых параметров, выраженных в натуральном виде, примет вид

$$\begin{aligned} T_{\text{ФЭ}} = & 197,1 + 1,63 \cdot \Delta_H + 0,19 \cdot g_\varphi - 83,3 \cdot p_{me} - 136,1 \cdot K_T + \\ & + 42,0 \cdot M + 0,02 \cdot \Delta_H \cdot g_\varphi - 1,09 \cdot \Delta_H \cdot p_{me} - 2,05 \cdot \Delta_H \cdot K_T + \\ & + 1,04 \cdot \Delta_H \cdot M - 0,3 \cdot p_{me} \cdot g_\varphi - 0,57 \cdot K_T \cdot g_\varphi + 0,29 \cdot M \cdot g_\varphi + \\ & + 26,1 \cdot K_T \cdot p_{me} - 13,41 \cdot M \cdot p_{me} - 25,18 \cdot K_T \cdot M + 0,08 \cdot \Delta_H^2 + \\ & + 0,01 \cdot g_\varphi^2 + 25,5 \cdot p_{me}^2 + 51,88 \cdot K_T^2 + 5,93 \cdot M^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Адекватность полученных моделей проверяли по F_p - критерию Фишера.

Расчётное значение критерия Фишера

$$F_{pi} = \frac{S_{\text{адИ}}^2}{S_{yИ}^2} = \frac{111,517}{36} = 3,098 < 4,0; \quad (3)$$

$$F_{pi} = \frac{S_{\text{адТФЭ}}^2}{S_{yТФЭ}^2} = \frac{127,069}{41} = 3,099 < 4,0; \quad (4)$$

Следовательно, полученные модели по матрице планирования эксперимента адекватны при 4%-ном уровне значимости, т.е. погрешность экспериментальных исследований составляет не более 4%.

Насколько полученные зависимости (1) и (2) адекватны реальным условиям работы комбинированного центробежного масляного фильтра (ФЦМК) в дизелях локомотивов при их эксплуатации проиллюстрируем на примере дизеля 1А-5Д49 (для дизель-агрегата 1А-9ДГ) тепловоза УзТЕ16М ($p_{me} = 1,25$ МПа, частота вращения коленчатого вала - $n_B = 800 \div 1000$ об/мин или $\vartheta_B = 13,3 \div 16,67 \frac{1}{c}$; для центробежного масляного фильтра, $K_T = 1, M = 0$); масса масла в системе «фильтр-дизель-топливо-масло» (ФДТМ) $M_M = 1500$ кг) [1,2]. Для дизелей тепловозов используются масла марок М14В2 и М14Г2, т.е. при работе на данных маслах - (цл20) (ГОСТ 12337-84) [3].

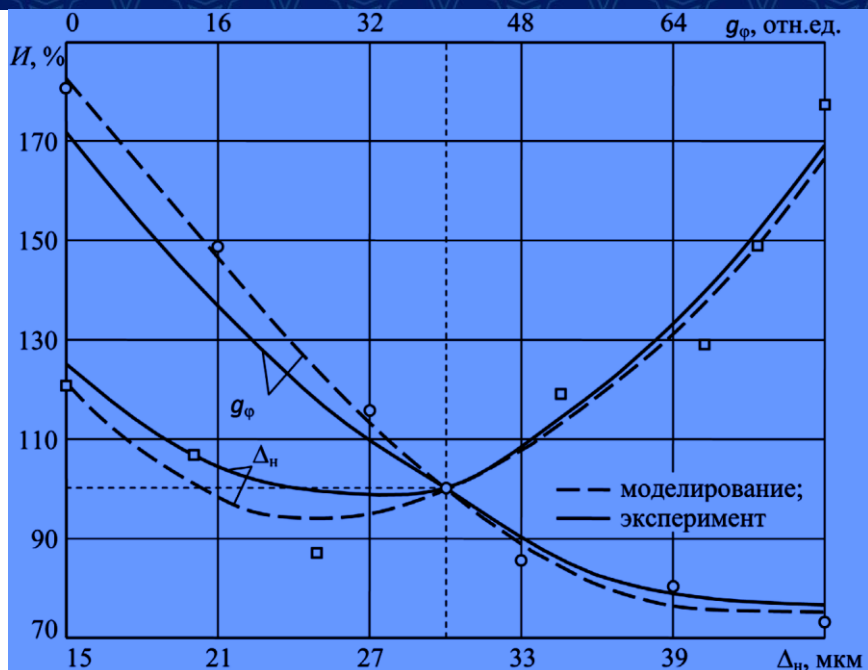


Рисунок 1. Влияние тонкости отсева Δ_n и интенсивности фильтрации дизельного масла g_ϕ на изнашивание дизеля I , %.

Как видно из рисунка 1, экспериментально полученная зависимость I от параметра Δ_n для центробежного масляного комбинированного фильтра (ФЦМК) довольно близка к расчётной зависимости (1), представляющей результаты моделирования. В диапазоне $\Delta_n = 30-45$ мкм расчётная и экспериментальная кривые практически совпадают. В зоне $\Delta_n = 15-30$ мкм все расчётные точки I за исключением $\Delta_n = 25$ мкм находились в поле рассеивания экспериментальных данных со средним квадратичным отклонением $\Delta_n = \pm 3,09$ %, определённых с 4%-ным уровнем значимости. При $\Delta_n = 24-27$ мкм наблюдается минимум изнашивания вкладышей подшипников. Это обусловлено тем, что при $\Delta_n < 25$ мкм возможны режимы работы ФЦМК с перепуском масла через предохранительные клапан при пусковых режимах работы дизеля.

Зависимость $T_{фэ}(\Delta_n)$ и $T_{фэ}(g_\phi)$ (рисунок 2) параболического типа в диапазоне изменения факторов x_1 и x_2 от (-1) до (+1) практически равноценны по характеру влияния на эту функцию отклика.

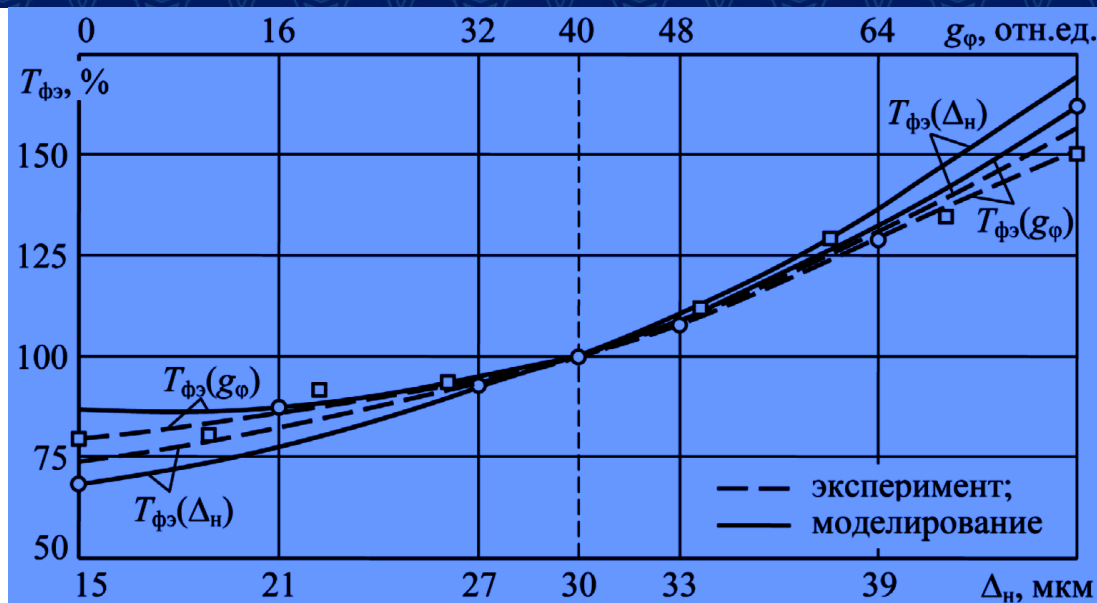


Рисунок 4.2. Влияние тонкости отсева Δ_n и интенсивности фильтрации дизельного масла g_ϕ на срок службы $T_{фэ}$.

С повышением Δ_n и g_ϕ параметр $T_{фэ}$ увеличивается с одинаковой интенсивностью. Значительных отклонений экспериментальных значений $T_{фэ}$ от рассчитанных по полученной модели не наблюдается. Прогнозирование срока службы полнопоточных ФЭ хорошо согласуется с экспериментальными данными по этому параметру, полученными в результате натуральных эксплуатационных испытаний центробежного масляного фильтра дизеля 1А-5Д49 (для дизель-агрегата 1А-9ДГ) тепловоза УзТЕ16М.

В целом оценивая результаты моделирования комплекса системы «фильтр-дизель-топливо-масло» (ФДТМ) можно отметить хорошую согласованность рассчитанных по моделям функций (1) и (2) данных с экспериментальными результатами, полученными в опытах [3,4]. Расхождение между ними находилось в диапазоне 3–16 %.

References:

1. Теория и конструкция локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г.С. Михальченко, В.Н. Кашников, В.С. Коссов, В.А. Симонов; под ред. Г.С. Михальченко. - М.: Маршрут, 2006. - 584 с.
2. Качанова Л. С. Совершенствование очистки отработанного моторного масла центробежными аппаратами. // Дисс. на соискание степени к.т.н.: 05.20.03. - зерноград, 2004. - 152 с.
3. Овчаренко С. М. Моделирование работы и оценка эффективности систем очистки моторного масла различных серий тепловозов. / С. М. Овчаренко // Вестник РГУПС / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. - Ростов-на-Дону, 2006. - № 1. - С. 21 - 27.
4. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Методика расчета масляного фильтра дизеля тепловоза. // Eurasian Journal of mathematical theory and computer sciences. /



Innovative Academy Research Support Center. Volume 5, Issue 6, June 2025. – P.17-21.

<https://doi.org/10/5281/zenodo.15706545>

5. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Математическая модель для моделирования работы центробежного масляного фильтра дизеля тепловоза. // Eurasian Journal of Academy Research. Volume 5, Issue 8, August 2025. – P.82-88.

<https://doi.org/10/5281/zenodo.17035659>

6. б. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Математическая модель для численных исследований крутильных колебаний деталей центробежного масляного фильтра дизелей тепловозов. // Eurasian Journal of Academy Research. Volume 5, Issue 10, October 2025. – P.5-10. <https://doi.org/10/5281/zenodo.17292524>

7. Ибрагимов М.А., Космодамианский А.С., Хромова Г.А. Методология научной работы: учебное пособие. - М.: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2017.-191 с.