

УДК 621.892. 096

**А.В. Надежкин, И.В. Соколова**

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
690003, г. Владивосток, Верхнепортовая, 50а

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ  
ДОЛИВА МОТОРНОГО МАСЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Приведены результаты модельного эксперимента по нахождению рациональных режимов долива моторного масла в систему смазки судового дизеля, позволяющих минимизировать отрицательное влияние долива на работу двигателя. Предложен критерий для оценки устойчивости дисперсной фазы нерастворимых загрязнений, получена регрессионная зависимость, позволяющая рассчитать объем рационального долива свежего масла.*

**Ключевые слова:** судовые дизели, моторное масло, дисперсность продуктов загрязнения, объем долива.

**A.V. Nadezkin, I.V. Sokolova**

**IMITATING MODELING OF INFLUENCE MODES ADDITION OF FRESH  
MOTOR OIL ON EFFICIENCY OF OPERATION OF MARINE ENGINES**

*The results of modelling experiment on a researching of rational modes addition of fresh motor oil in lubricant system of marine engines allowing to minimize negative influence on job of the engine are given. The criterion for an estimation of stability dispersion of a phase of insoluble pollution is offered, is received mathematical equation allowing to calculate volume rational addition of fresh oil.*

**Key words:** marine diesel engines, motor oil, dispersion of products of pollution, volume addition of fresh oil.

Анализ результатов проведенных ранее исследований [1, 2] позволил выяснить, что влияние долива моторного масла (ММ) в систему смазки (СС) судового дизеля на дисперсность продуктов загрязнения имеет разнонаправленное действие. С одной стороны, долив свежей порции масла приводит к уменьшению размеров основной массы частиц загрязнений, на что указывает средний диаметр  $m_d$ . С другой стороны, увеличение среднеквадратичного отклонения  $m_\sigma$  условного диаметра частиц загрязнений показывает, что доля крупнодисперсных частиц после долива становится несколько выше, чем до долива. Необходимо добиться либо уменьшения  $m_\sigma$  при доливке, либо ее минимального увеличения, так как увеличение доли грубодисперсной фазы (ГДФ) в работающем масле оказывает отрицательное влияние на ресурсные показатели судовых дизелей [3].

Целью данного исследования является поиск рациональных режимов долива ММ, которые позволили бы минимизировать отрицательное влияние долива на работу двигателя и снижение срока необслуживаемой работы средств очистки.

В качестве параметра оценки наличия в масле частиц ГДФ предложено использовать  $Q\varphi_i$  – интенсивность очистки полнопоточного фильтра тонкой очистки масла (ФТОМп). С одной стороны, его увеличение однозначно указывает на сокращение ресурса работы бумажных фильтрующих элементов, с другой стороны – на увеличение в работающем моторном масле количества ГДФ загрязнений, поскольку коэффициент полноты отсева тем выше, чем больше в ММ частиц, соизмеримых с размером пор фильтровального материала. Очевидно, что минимизация отношения интенсивности

очистки после долива масла  $Q\varphi_{i+1}$  к интенсивности очистки до долива  $Q\varphi_i$  может служить показателем негативного влияния долива масла в систему смазки и одновременно критерием устойчивости дисперсной фазы  $K_Q$ :

$$K_Q = \frac{Q\varphi_{i+1}}{Q\varphi_i} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Закономерности отсева нерастворимых примесей различными маслоочистителями задавались согласно выражению [3, 4]:

$$\varphi_i = \int_0^{d_{max}} \varphi_d f(d) dd, \quad (2)$$

где  $f(d)$  – функция распределения частиц по размерам;  $\varphi_d$  – фракционный коэффициент отсева. Функция для определения  $\varphi_d$  зависит от типа маслоочистителя. Функция  $f(d)$  зависит от  $m_d, m_\sigma$ , которые определяют наличие в масле ГДФ.

С помощью модельного эксперимента были рассчитаны значения  $K_Q$  при доливе масла в объеме  $V_\tau = 1-62\%$  с шагом единица. Выполненные расчеты показали наличие минимума в функции  $K_Q = f(V_\tau)$ . Величина долива масла, при котором наблюдается наименьшее значение  $K_Q$ , мы назвали рациональным объемом долива ( $V_{рац}$ ). Выявлено, что величина минимума критерия  $K_Q$  зависит от состояния и типа применяемого моторного масла.

Как видно на рис. 1, рациональным доливом к работающему маслу с остаточным щелочным числом ( $ЩЧ_{ост}$ ), равным 90 % от исходного значения при исходном щелочном числе ( $ЩЧ_{св}$ ), равном 10 мг КОН/г, является величина  $V_{рац} = 17,0\%$ ; для масла с  $ЩЧ_{св} = 20$  мг КОН/г  $V_{рац} = 21,7\%$ ; а если  $ЩЧ_{св} = 30$  мг КОН/г, рациональный объем долива составит 25,0 %. Отсюда следует, что чем выше уровень детергентных свойств, тем меньше заметно негативное влияние долива.

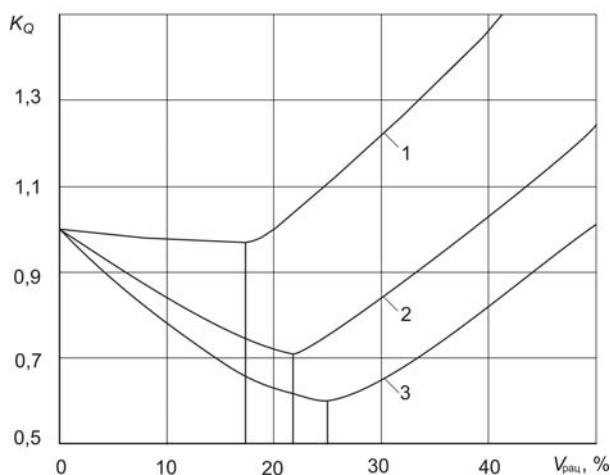


Рис. 1. Изменение критерия  $K_Q$  от объема долива свежего масла к работающему с остаточным щелочным числом 90 %:

1 – для масел с исходным щелочным числом 10; 2 – 20; 3 – 30 мг КОН/г

Fig. 1. Change of criterion  $K_Q$  from volume addition of fresh oil to working with residual base number 90 of %: 1 – for oils with initial base number 10; 2 – 20; 3 – 30 мг КОН/g

На рис. 2 показано, что рациональным доливом к работающему маслу с исходным  $ЩЧ_{св} = 30$  мг КОН/г при  $ЩЧ_{ост} = 90\%$  является величина  $V_{рац} = 25\%$ ; при  $ЩЧ_{ост} = 70\%$   $V_{рац} = 15\%$ . При срабатывании присадки на 50 % минимум не наблюдается. Долив лю-

бой порции свежего масла к такому маслу приводит к снижению эффективности работы фильтра. Удалось зафиксировать нижний уровень остаточного щелочного числа работающего масла, при котором определяется минимальное  $K_Q$ , –  $\text{ЩЧ}_{\text{ост}} = 58\%$ . При этом  $V_{\text{рац}}$  составляет всего 2 %.

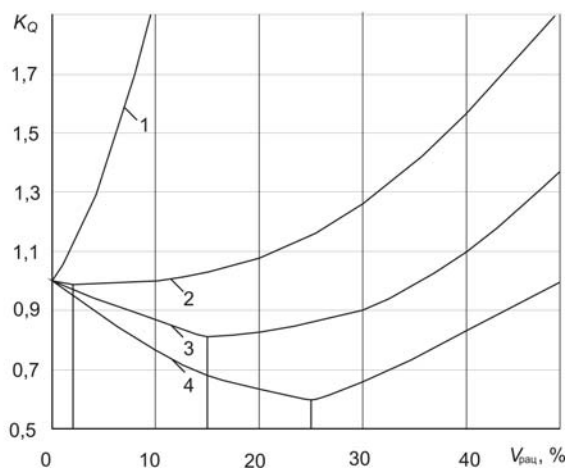


Рис. 2. Изменение критерия  $K_Q$  при доливе свежего масла к работающему с исходным щелочным числом 30 мг КОН/г: 1 – остаточное щелочное число 50; 2 – 58; 3 – 70; 4 – 90 %  
 Fig. 2. Change of criterion  $K_Q$  at addition of fresh oil to working oil with initial base number 30 мг КОН/г: 1 – residual base number 50; 2 – 58; 3 – 70; 4 – 90 %

Таким образом, как показал модельный эксперимент, для масел с небольшой наработкой рациональный объем долива лежит в интервале от 17 до 25 %. Чем выше наработка масла и ниже детергентные свойства масла, тем меньше рациональный объем доливаемой порции. Для работающего масла, достигшего браковочного уровня по щелочному числу (сработано 40-50 % присадки), рациональным режимом долива является объем 1-3 %.

Используя результаты математического моделирования, решено найти регрессионное уравнение для определения  $V_{\text{рац}}$  с помощью факторного эксперимента. Факторы и диапазоны их варьирования представлены в табл. 1. Факторы  $x_1$  и  $x_2$  – исходное и остаточное на момент долива щелочное число моторного масла. Исключения составили случаи, когда уровень срабатывания щелочной присадки достигал 50 %. В этих случаях выбиралось первое значение  $V_{\text{рац}}$ , при котором фиксировался минимум  $K_Q$ . Установлено, что величина тонкости отсева фильтрующего элемента на функцию отклика  $K_Q$  не оказывает влияния, если  $\Delta_{95}$  ФТОМп находится в диапазоне 30-50 мкм, что характерно для систем смазки современных судовых дизелей.

Таблица 1

**Уровни и интервалы варьирования факторов**

Table 1

**Levels and intervals of a variation of the factors in experiment**

Факторы	Значение кодов		
	0	1	2
$\text{ЩЧ}_{\text{св}} - x_1$	10	20	30
$\text{ЩЧ}_{\text{ост}} - x_2$	>50	70	90
$m_d/m_{\sigma} - x_3$	1,5	2,0	2,5

Также по результатам модельного эксперимента установлено, что определяющим фактором, оказывающим влияние на изменение интенсивности очистки масла ФТОМп после долива, является не абсолютное значение  $m_d$ , а отношение  $m_d/m_{\sigma}$ . Как показывает

анализ априорной информации [5] и наши собственные исследования, у работающих судовых моторных масел значение этого симплекса находится в диапазоне от 1,5 до 2,5.

Таким образом, для выявления зависимости рационального значения долива  $V_{рац} = f(ЩЧ_{св}, ЩЧ_{очт}, m_d/m_{\sigma})$ , минимизирующего грязевую нагрузку на средства очистки, а также количество грубодисперсных загрязнений в системе смазки судового дизеля, можно провести модельный эксперимент, используя теорию планирования эксперимента. В качестве матрицы использован план типа  $3^3$ , представленный в табл. 2.

Таблица 2

**Матрица и результаты математического моделирования**

Table 2

**A matrix and results of mathematical modeling**

Номер	Код	$ЩЧ_{св}$ $x_1$	$ЩЧ_{очт}$ $x_2$	$m_d/m_{\sigma}$ $x_3$
1	000	10	67,5	1,5
2	010	10	70	1,5
3	020	10	90	1,5
4	001	10	69,5	2,0
5	011	10	70	2,0
6	021	10	90	2,0
7	002	10	73	2,5
8	012	10	80	2,5
9	022	10	90	2,5
10	100	20	63,1	1,5
11	110	20	70	1,5
12	120	20	90	1,5
13	101	20	63,2	2,0
14	111	20	70	2,0
15	121	20	90	2,0
16	102	20	63,4	2,5
17	112	20	70	2,5
18	122	20	90	2,5
19	200	30	60,6	1,5
20	210	30	70	1,5
21	220	30	90	1,5
22	201	30	57,8	2,0
23	211	30	70	2,0
24	221	30	90	2,0
25	202	30	54,5	2,5
26	212	30	70	2,5
27	222	30	90	2,5

В результате модельного эксперимента, поставленного согласно плану (см. табл. 1), определены коэффициенты уравнения регрессии. Коэффициенты модели и вид аппроксимирующей зависимости определялись с помощью программы Matlab. Эта зависимость удовлетворительно аппроксимируется полиномом второй степени:

$$V_{рац} = -118,312 + 0,5437x_1 - 1,276x_1^2 + 25,934x_2 - 1,225x_2^2 - 1,801x_3 + 4,998x_1x_3 - 1,575x_3^2. \quad (3)$$

Коэффициент детерминированности  $R^2 = 0,988$  говорит о хорошем приближении линии регрессии к наблюдаемым данным и о возможности построения качественного прогноза. Полученная математическая зависимость позволяет определить рациональный режим долива, минимизирующий негативное влияние на дисперсность продуктов загрязнения моторного масла при доливе. Зависимость базируется на экспериментальных моделях, полученных нами при проведении лабораторных и моторных исследований. Анализ влияния долива ММ с разными эксплуатационными свойствами позволил выявить причины, приводящие к снижению объемов долива до рациональных пределов и позволяющие сохранить рабочие свойства масла на определенном уровне в течение длительного периода времени без ухудшения ресурсных показателей судовых дизелей.

Таким образом, моделированием установлено, что рациональный объем доливаемого масла в зависимости от диспергирующих свойств свежего масла и степени срабатывания присадок находится в диапазоне 3-25 % остаточного объема работающего ММ. Чем выше наработка масла (срабатывание присадок) и ниже его диспергирующие свойства, тем меньше рациональный объем доливаемой порции. Для работающего масла, достигшего браковочного уровня по щелочному числу, объем доливаемого масла должен быть как можно меньше.

### Список литературы

1. Надежкин А.В. Исследование изменения коллоидной структуры работающего масла при увеличенном доливе [Текст] / А.В. Надежкин, И.В. Соколова // Актуальные проблемы создания, проектирования и эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания: сб. науч. тр. – Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т., 2007. – Вып. 4. – С. 10-15.
2. Соколова И.В. Анализ дисперсности продуктов загрязнения работающего моторного масла при доливах в систему смазки судового дизеля [Текст] / И.В. Соколова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 2008. – С. 215-218.
3. Кича Г.П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05 [Текст] / Кича Геннадий Петрович. – Владивосток, 1992. – Т. 1. – 512 с. – Т. 2. – 358 с.
4. Кича Г.П. Теоретические основы расчета и интенсификации очистки топлив и масел в ДВС фильтрованием [Текст] / Г.П. Кича // Двигателестроение. – 1986. – № 5. – С. 25-29.
5. Овсянников В.В. Дисперсионный анализ продуктов загрязнений в задачах повышения эффективности центробежной очистки масел судовых дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / В.В. Овсянников. – Ленинград, 1984. – 24 с.

**Сведения об авторах:** Надежкин Андрей Вениаминович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: nadezkin@mail.ru;

Соколова Ирина Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, sokolova\_irine@mail.ru.