

УДК 621.43.013 : 629.3

Н.К. Пак

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

Приводится методика определения наиболее эффективной работы центробежного сепаратора при очистке моторного масла ДВС. Осуществлен выбор его оптимальной пропускной способности и программ управления. Дана оценка эффективности разработанных программ управления пропускной способностью сепаратора при включении его в систему смазки двигателя 6ЧН40/46.

Ключевые слова: центробежный сепаратор, моторное масло, очистка масла.

N.K. Pak

THE OPTIMIZATION OF OPERATION OF THE CENTRIFUGAL SEPARATOR DURING THE CLEANING OF ENGINE OIL IN THE MARINE DIESELS

The most determination effective methods of operation of the centrifugal separator are given during the cleaning of engine oil. Optimal delivery value and control programs have selected. Efficiency of the developed control programs of separator's delivery value have estimated when the separator operated in lubricating system of 6CH40/46 engine.

Key words: centrifugal separator, engine oil, cleaning of oil.

На современном этапе частично поточное включение центробежного сепаратора (ЦС) в систему смазки (СС) мощных дизелей является единственным методом, который обеспечивает глубокую очистку моторного масла (ММ) от механических примесей и воды. Схема включения сепаратора в СС и параметры его работы значительно влияют на эффективность удаления нерастворимых продуктов (НРП) загрязнения из циркуляционного масла ДВС. Интенсивность очистки масла зависит в основном от пропускной способности Q_c ЦС. Отсюда напрашивается вывод о необходимости разработки таких программ управления пропускной способностью очистителя, при которых скорость удаления загрязнений из масла была бы максимальной.

В настоящее время на судах используются два способа включения ЦС в СС двигателей:

- 1) байпасное непрерывное (при оснащении каждого дизеля отдельным ЦС);
- 2) байпасное периодическое (при оснащении нескольких дизелей одним ЦС).

Отсюда следует, что поиск оптимальных программ управления пропускной способностью предусматривает:

- обеспечение минимальной концентрации загрязнений в циркуляционном масле СС при непрерывной байпасной его очистке;
- достижение наименьшей продолжительности работы сепаратора при периодическом его подключении, обеспечивающей достаточно низкую загрязненность масла.

Для достижения вышеуказанных целей по оптимизации рассмотрим процесс очистки масла от НРП при байпасно подключенном сепараторе. Математическая модель процесса с учетом временного дрейфа дисперсной фазы (ДФ) загрязняющих примесей может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dc_x}{d\tau} &= \frac{1}{G_0} (a - Q_c \varphi_c c_x), \\ \frac{dm_d}{d\tau} &= \frac{1}{G_0} \left[\frac{a}{c_x} (m_{da} - m_d) - Q_c (1 - \varphi_c) (m_d - m_{d\phi}) \right] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где c_x – значение текущей концентрации загрязняющих примесей в работающем ММ; G_0 – вместимость СС; a – скорость поступления загрязнений в СС дизеля; Q_c – пропускная способность ЦС; φ_c – коэффициент полноты отсева ЦС; m_d – значение медианного размера частиц продуктов загрязнений в ММ; m_{da} , $m_{d\phi}$ – медианный размер частиц продуктов загрязнений на входе и на выходе из агрегата очистки.

По результатам анализа системы уравнений (1) следует, что необходимые параметры оптимизации могут быть сформулированы как задачи минимизации функционала:

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \varphi_0(c_x, Q_c) d\tau, \quad (2)$$

где $\varphi_0(c_x, Q_c)$ – заданная функция переменных c_x и Q_c ; τ_0 и τ_1 – время начала и конца процесса.

Подставив $\varphi_0 = 1$ в выражение (2), получим:

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} d\tau = \tau_1 - \tau_0. \quad (3)$$

Отсюда следует, что задача минимизации функционала сводится к минимизации времени достижения требуемого уровня загрязнения ММ.

Если положить, что $\varphi_0 = \frac{a - Q_c \varphi_c c_x}{G_0}$, то

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \frac{a - Q_c \varphi_c c_x}{G_0} d\tau = c_x(\tau_1) - c_x(\tau_0) \quad (4)$$

и оптимизация параметров сепарирования преобразуется в минимизацию разности между конечной $c_x(\tau_1)$ и начальной $c_x(\tau_0)$ концентрациями НРП в масле, что соответствует минимизации конечного значения концентрации c_{x1} при начальном c_{x0} .

Таким образом, цели оптимального управления ЦС, определенные уравнениями (3) и (4), являются задачами вариационного исчисления. При этом на управляющее воздействие – пропускную способность Q_c сепаратора – накладывается ограничение $0 < Q_c < Q_n$.

Вариационные задачи такого типа классическими методами решить трудно. В данном случае лучше применить один из методов неклассического вариационного исчисления – принцип максимума [2].

В соответствии с общей схемой решения задач оптимального управления, с учетом изложенного запишем гамильтониан для задачи быстродействия, которая представляет собой скалярное произведение векторов $\lambda_1 \frac{dc_x}{d\tau}$, $\lambda_2 \frac{dm_d}{d\tau}$:

$$\tilde{H} = \frac{\lambda_1}{G_0} [a - Q_c \varphi_c c_x] + \frac{\lambda_2}{G_0} \left[\frac{a}{c_x} (m_{da} - m_d) - Q_c (1 - \varphi_c) (m_d - m_{d\phi}) \right], \quad (5)$$

где λ_1, λ_2 – вспомогательные переменные.

Величину переменных λ_1 и λ_2 определяют при решении сопряженных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\lambda_1}{d\tau} &= -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial c_x} = \frac{1}{G_0} \left[\lambda_1 Q_c \varphi_c + \lambda_2 (m_{da} - m_d) \frac{a}{c_x^2} \right]; \\ \frac{d\lambda_2}{d\tau} &= -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} = \frac{1}{G_0} \left\{ \lambda_1 c_x \left(Q_\phi \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial x} + Q_c \frac{\partial \varphi_c}{\partial x} \right) + \right. \\ &+ \lambda_2 \left[\frac{a \partial m_d}{c_x \partial x} + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left(1 - \frac{\partial m_d}{\partial x} \right) + (m_d - m_{d\phi}) \frac{Q_\phi \partial \varphi_\phi}{\partial x} + \right. \\ &\left. \left. + Q_c (1 - \varphi_c) \left(1 - \frac{\partial m_d}{\partial x} \right) + (m_{da} - m_d) \frac{Q_c \partial \varphi_c}{\partial x} \right] \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Оптимальная пропускная способность $Q_{\text{опт}}$, при которой возникает минимум функционала (2), выбирается по максимуму гамильтониана (5), соблюдая условие:

$$\tilde{H}[c_x(\tau), m_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)] = \max \tilde{H}[c_x(\tau), m_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)]. \quad (7)$$

Из-за сложности правых частей уравнений (1) и (6) получить конечное значение для Q_c в аналитическом виде невозможно. Поэтому для решения использовали численные методы интегрирования. Для нахождения с помощью выражения (7) оптимальной программы управления ЦС указанные системы интегрировали совместно, задав граничные условия в начальной и конечной точках. Число граничных условий для обеих точек принимали одинаковым.

Гамильтониан для системы (1) и функционала (4) составлен аналогично. После некоторых преобразований он приведен к виду (5). Сопряженные уравнения системы (6) остались неизменными, но граничные условия в конечной точке интегрирования другие. Из-за того что концентрация нерастворимых примесей в конце траектории не известна, незаданность ее компенсировали введением вспомогательной переменной. Величина переменной определяется из условий трансверсальности с учетом преобразований функции $\tilde{H} - \lambda(\tau_1) = -1$.

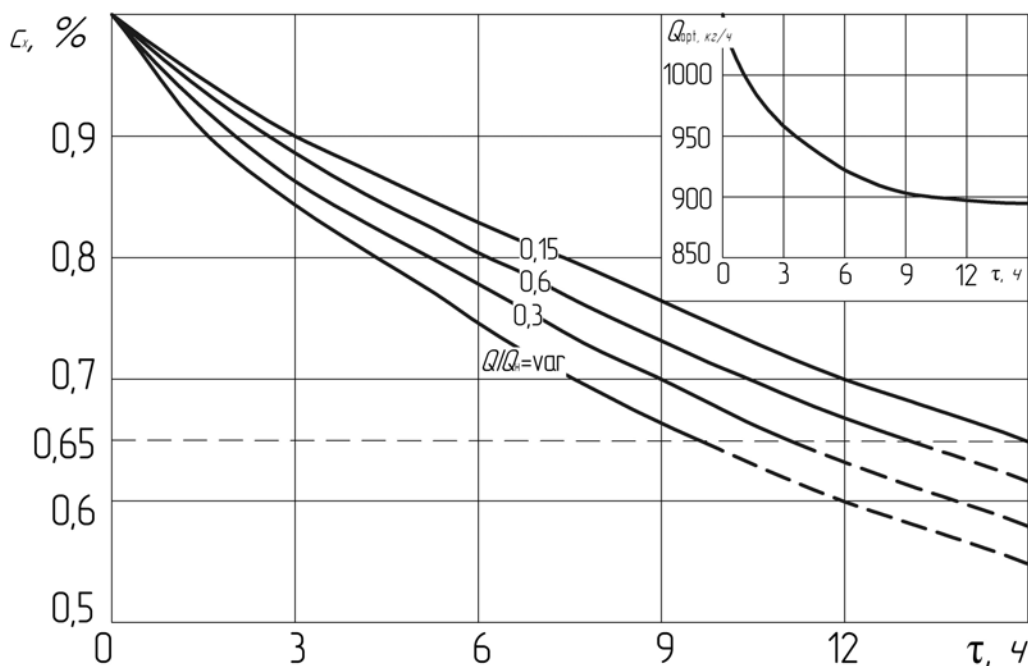
Таким образом, выбор оптимальных программ управления ЦС сведен к интегрированию систем уравнений (1) и (6) с двухточечными граничными условиями. Теория решения таких задач почти не разработана. Поэтому для интегрирования предложенных уравнений необходимо создание эффективных алгоритмов. На основе анализа чис-

ленных методов принят способ «пристрелки». При его реализации возникли затруднения, обусловленные неустойчивостью систем уравнений (5) и (6). Даже небольшое изменение начальных параметров λ_1 и λ_2 существенно влияет на результаты интегрирования, что усложняет вычислительный алгоритм, поскольку необходимо найти путь к решению, избегая области неустойчивости. К тому же значение управляющего воздействия Q_c на каждом шаге интегрирования корректируется условием (7).

Задавшись неизвестными значениями переменных (параметрами задачи) в начальной и конечной точках траектории, находили промежуточное решение систем уравнений, которое обычно не совпадает с заданными граничными условиями. Многократным повторением этого процесса в соответствии с созданным алгоритмом выбирали значение неизвестных переменных, минимизирующих невязку в конечной точке интегрирования. Цикл повторяется заново до тех пор, пока не будет достигнуто заданное значение степени загрязненности ММ, либо не произойдет стабилизация значения минимизируемой переменной [3].

Оценим эффективность разработанных программ управления пропускной способностью ЦС при включении его в систему смазки двигателя. Такое сопоставление для режима периодического включения ЦС в систему смазки дизеля проведено расчетным путем на примере двигателя 6ЧН40/46, параметры системы смазки и агрегата очистки которого имеют следующие значения: $G_0 = 5$ т, $Q_H = 2$ т/ч, $d_0 = 3$ мкм, $a = 80$ г/ч. Загрязненность моторного масла при включении ЦС в работу во всех случаях составляла 1 %, а дисперсность продуктов загрязнения – 1 мкм.

При периодическом подключении очистителя к системе смазки двигателя сравнивались по критерию «быстродействие» программа управления, полученная в результате оптимизации (рисунок), и ряд произвольных режимов работы ЦС с пропускной способностью, равной соответственно 0,15; 0,3; 0,6 Q_H .



Влияние режимов работы ЦС на удаление загрязнений из ММ
The influence of operational modes of the centrifugal separator on eliminating of contaminants from engine oil

Как видно из рисунка, наименьшая продолжительность включения ЦС в работу обеспечивается при применении программы управления работой ЦС, выбранной по разработанной методике. Время работы очистителя до достижения заданной степени загрязненности моторного масла 0,65 % в этом случае составляет 10 ч, что в 1,2-1,5 раза меньше, чем для остальных режимов.

Список литературы

1. Кича Г.П. Оптимизация режимов центробежного сепарирования циркуляционного масла дизелей [Текст] / Г.П. Кича, А.В. Надежкин // Исследование и методы повышения эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок. – Новосибирск, 1984. – С. 36-40.
2. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, М.Ф. Мищенко. – М.: Наука, 1976. – 392 с.
3. Кича Г.П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05: защищена 06.10.92: утв. 24.02.93 / Кича Геннадий Петрович. – Владивосток, 1992. – Т. 1. – 512 с. – Т. 2. – 358 с.

Сведения об авторах: Пак Николай Каптыгиевич, аспирант,
e-mail: pak.russiakorean@mail.ru.