

секций с 6 рядами труб и аппарат с параллельным включением 6 секций с 6 ходами и 1 рядом труб. Однако второй вариант является более эффективным за счет включения элементов противоточной схемы, а первый – более простым в конструктивном исполнении. Увеличение интенсивности теплообмена с $NTU = 1,2$ до $NTU = 10$ (см. рис. 3) наиболее весомо влияет на рост эффективности односекционного аппарата и многосекционного с противоточным включением секций.

Выводы. Показано, что интенсификация теплообмена неоднозначно влияет на эффективность всего аппарата в целом. При разработке новых и реконструкции существующих теплообменных аппаратов необходимо проводить не только интенсификацию теплообмена, а и учитывать влияние на их эффективность компоновки теплообменных поверхностей, факторов эксплуатации (загрязнений, отложений и пр.) и технологических факторов изготовления поверхности. Разработанная методика может быть использована при проектировании но-

вых аппаратов и модернизации действующих, а также для системного анализа и оптимизации параметров теплообменных аппаратов и энергоустановки в целом с учетом эффективности работы теплообменного оборудования.

Список литературы:

1. Пиир А.Э., Кунтыш В.Б. Итоги экспериментальных и теоретических исследований пучков из биметаллических ребристых труб // V Минский Международный форум по тепло- и массообмену. Минск, 24-28 мая 2004 г. – Минск, 2004. – Т.2. – С. 317–318. 2 Кейс В.М. Компактные теплообменники / В.М. Кейс, В.М. Лондон – М.: Энергия, 1967. – 223 с. 3. Петухов Б.С. Справочник по теплообменникам: В 2 т. / Пер. с англ., под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т.1. – 560 с. 4. Ганжа А.М. Особливості розрахунку складних багатосекційних теплообмінних апаратів зі змішаним плином / А.М. Ганжа, Н.А Марченко // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Системный анализ, управление и информационные технологии: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2010. – №. 9., С. 113–120.

УДК 621.438

А.И. Тарасенко, канд. техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ АЛГОРИТМОВ В МАЛОБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ С РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ

Введение

Рассматривается малооборотный дизель, как дискретная машина, имеющий регулятор на базе управляющей ЭВМ. Минимальная комплектация регулятора: управляющая ЭВМ, исполнительный механизм и датчик скорости.

Исполнительный механизм, приводит в движение отсечной вал топливных насосов. Положение отсечного вала отождествляется с осредненным крутящим моментом на валу дизеля. При этом отсечной вал влияет на рабочий процесс в цилиндрах только в районе верхней мертвой точки.

Формулирование проблемы

Требуется получить дифференциальное уравнение движения дизеля с учетом применяемых алгоритмов регулирования и дискретных процессов в цилиндрах.

Решая и анализируя полученные уравнения, необходимо сформулировать требования к системе управления.

Согласно [2] крутящий момент, передаваемый цилиндром к коленчатому валу, может быть определен с помощью следующего выражения

$$M_j(\varphi) = V_{ц} [P_c \cdot K(\varphi) + P_i \cdot S(\varphi)], \quad (1)$$

где φ – угол поворота коленчатого вала; $V_{ц}$ – объем цилиндра; P_c – давление в конце процесса сжатия; P_i – среднее индикаторное давление;

$K(\varphi) = \chi_K [\varphi_x e^{-\zeta_K \varphi_x} - \varphi_y e^{-\zeta_K \varphi_y}]$ – компрессионная функция; $S(\varphi) = \chi_S \varphi_x e^{-\zeta_S \varphi_x}$ – силовая функция.

В этих выражениях:

$$\varphi_x = \varphi - 2\pi \cdot \text{entier} \left(\frac{\varphi}{2\pi} \right);$$

$$\varphi_y = 2\pi - \varphi_x;$$

$$\chi_K = 0,99 - 0,008 \varepsilon; \quad \zeta_K = 1,42 + 0,083 \varepsilon;$$

$$\chi_S = 1,62 + 0,28 \varepsilon; \quad \zeta_S = 1,43 + 0,062 \varepsilon,$$

где ε – геометрическая степень сжатия.

Номинальный крутящий момент на выходном фланце или момент, соответствующий режиму максимальной длительной мощности

$$M_{\text{мдм}} = \frac{P_{i\text{мдм}} V_{\text{ц}}}{2\pi} j_{\text{ц}},$$

где $P_{i\text{мдм}}$ – среднее индикаторное давление, соответствующий режиму максимальной длительной мощности; $j_{\text{ц}}$ – число цилиндров.

Тогда с учетом (1) запишем

$$\mu_j = \frac{M_j}{M_{\text{мдм}}} = \frac{2\pi}{j_{\text{ц}}} \left[\frac{P_c}{P_{i\text{мдм}}} K(\varphi) + h_j S(\varphi) \right], \quad (2)$$

где $h_j = \frac{P_i}{P_{i\text{мдм}}}$ – положение отсечного вала в момент вспышки цилиндра с номером j .

Уравнение движения дизеля может быть записано в виде [1, 3]

$$\dot{n} T_D = \mu_D - \mu_C, \quad (3)$$

где $n = \frac{\omega}{\omega_H}$ – нормированная скорость вращения;

ω – угловая скорость вращения дизеля; ω_H – номинальная угловая скорость вращения дизеля;

$$T_D = J \frac{\omega_H}{M_{\text{мдм}}} - \text{постоянная времени дизеля};$$

$$\mu_D = \frac{M_D}{M_{\text{мдм}}} = \sum_{j=1}^{j_{\text{ц}}} \mu_j - \text{нормированный момент дизеля};$$

$\mu_C = \frac{M_C}{M_{\text{мдм}}}$ – нормированный момент сопротивления (нагрузка).

Рассмотрим пропорциональный алгоритм регулирования [1, 3]

$$h_j = \begin{cases} 1 & \text{при } n \leq n_z - \Delta \\ \frac{n_z - n}{\Delta} & \text{при } n_z - \Delta < n < n_z \\ 0 & \text{при } n > n_z \end{cases}, \quad (4)$$

где n_z – заданная нормированная скорость вращения.

Уравнение (3) запишем в виде

$$\ddot{\varphi} = \frac{\omega_H}{T_D} (\mu_D - \mu_C). \quad (5)$$

В рассматриваемом случае с топливоподачей отождествляется среднее индикаторное давление и только в одном цилиндре. При применении управляющей ЭВМ необходимо выполнить расчеты и сформировать положение отсечного вала так, что-

бы, осредненный момент на валу дизеля отвечал требованиям алгоритма.

Дифференциальное уравнение (5) с учетом уравнений (4) и (2) легко решить на ЭВМ численным методом, например Рунге-Кутты или Хемминга. Автор отдал предпочтение методу Хемминга [4].

Используя уравнение (4) в процессе решения уравнения (5) учитываем, что $n = \frac{\dot{\varphi}}{\omega_H}$.

Момент сопротивления $\mu_C = \mu_{CН}$ можно считать постоянным или задать квадратичной зависимостью $\mu_C = \mu_{CН} \cdot n^2$. Изменение $\mu_{CН}$, например, скачкообразное задается исходными данными.

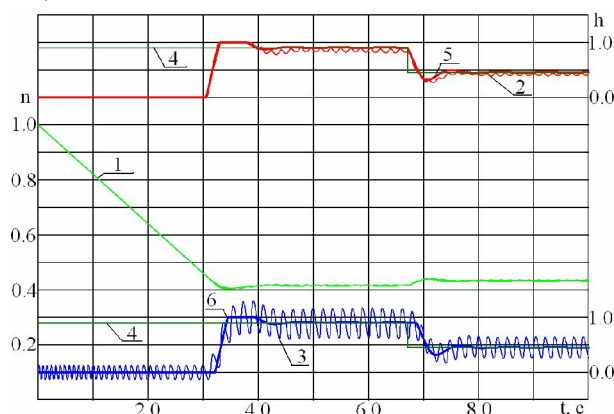


Рис. 1. Переходные процессы при пропорциональном регулировании с учетом мгновенной скорости вращения дизеля 1 – скорость вращения дизеля; 2 – положение отсечного вала; 3 – момент на валу двигателя; 4 – момент сопротивления; 5 – топливоподача для непрерывного регулятора; 6 – момент для непрерывного регулятора

На рис. 1 показан переходный процесс пропорционального регулятора без запаздывания. Запаздывание имеет только дизель за счет конечного числа цилиндров. Колебания положения отсечного вала не влияют на переходный процесс т.к. важны положения отсечного вала только в верхних мертвых точках. На этом же рисунке показан переходный процесс для непрерывно действующего регулятора с собственным запаздыванием 0,3 секунды. Следует отметить практически абсолютное совпадение графиков изменения скорости вращения.

Решение проблемы

Учитывая дискретную структуру дизеля, есть смысл осуществить дискретное его регулирование.

Регулятор генерирует положение отсечного вала только перед мертвыми точками цилиндров. Колебания скорости между мертвыми точками игнорируются.

Собственное запаздывание дизеля зависит от режима работы. Анализ результатов расчетов переходных процессов на ЭВМ позволил предложить осуществлять перестройку регулятора в зависимости от заданного режима с целью сохранить устойчивость процесса регулирования

$$\Delta = \Delta_n / n_z \quad (6)$$

При применении пропорционально-интегрального алгоритма регулирования необходимо с понижением режима увеличивать постоянную времени при интегрировании.

В [3] показано что $\tau_z < \Delta \cdot T_D$. Это означает, что на низких режимах с возрастанием времени запаздывания τ_z необходимо понижать качество регулирования увеличивая параметр Δ . Для систем с низкой постоянной времени T_D это особенно критично и при стендовых испытаниях, когда нет гребного винта и присоединенных к нему масс воды это надо учитывать.

Замер скорости вращения дизеля и формирование необходимой топливоподачи для реверсивной машины необходимо завершить когда датчик скорости находится посередине между мертвыми точками. Тогда у привода отсечного вала есть время отработать задание.

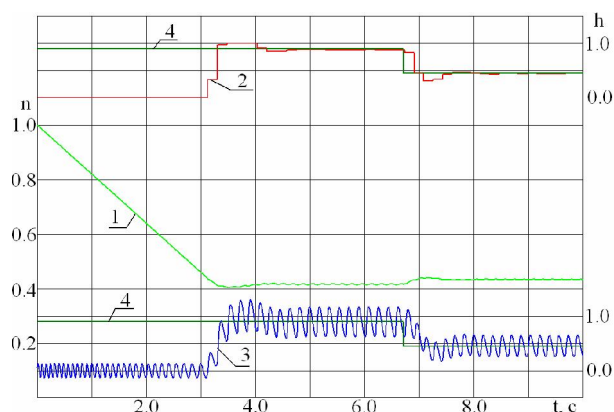


Рис. 2. Переходные процессы при пропорциональном дискретном регулировании

1 – скорость вращения дизеля; 2 – положение отсечного вала; 3 – момент на валу двигателя; 4 – момент сопротивления

На рис 2 показаны переходные процессы при дискретном регулировании. Следует отметить, что графики изменения скорости вращения и момента на валу двигателя совпадают абсолютно. Это означает, что переход к дискретному регулированию не повлиял на качество переходных процессов. Применение такого способа регулирования уменьшило колебания отсечного вала. Убранные колебания отсечного вала теоретически ни на что не влияют, однако, на практике с учетом запаздывания привода эти колебания вредны и дестабилизируют работу.

Заключение

Анализ графиков рис. 1 и рис. 2 показывает возможность применения пропорционально-интегрального регулирования для малооборотных дизелей.

Качество регулирования существенно зависит от режима работы и скорости вращения 30-40 мин⁻¹ надо определить как минимально устойчивые.

Для систем с постоянной времени менее 3 секунд качество регулирования на низких режимах резко ухудшается.

Параметры регулятора должны зависеть от задания и изменяться с изменением заданной скорости вращения. Возможность осуществить такие изменения является основным преимуществом регуляторов на основе управляющей ЭВМ.

Список литературы:

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания / В.И. Крутов. – М.: «Машиностроение», 1968. – 535 с.
2. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания / В.Л. Вейц, А.Е. Кочура. – Л.: Машиностроение, 1976. – 384 с.
3. Тарасенко А.И. Переходные процессы в малооборотном дизеле с регулятором на основе управляющей ЭВМ / А.И. Тарасенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – № 9 (66). – С. 64–67.
4. Мак-Кракен Д. Численные методы и программирование на Фортране / Д. Мак-Кракен, У. Дорн. – М.: Мир, 1977.