

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ ДИЗЕЛЯ,
РАБОТАЮЩЕГО НА ВИНТ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА

В последние годы на морском флоте получили широкое распространение пропульсивные установки с винтом регулируемого шага (ВРШ). По сравнению с установками с винтом фиксированного шага, такие установки имеют ряд преимуществ. Однако в процессе эксплуатации в таких установках было выявлено несовершенство алгоритмов защиты дизеля, работающего на ВРШ, при маневрировании судна.

Отличительной особенностью современных электронных систем управления главным двигателем (ГД) и ВРШ является возможность программирования их действия. Одной из таких систем является система управления SELMA-MARINE финской фирмы ABB Stromberg Drives Oy, которой оборудовано 6 судов типа "Измаил" (ГД фирмы Wartsila Vasa 32) 1992 – 1993 года постройки Украинского Дунайского пароходства. Система обеспечивает централизованный контроль параметров энергетической установки, управление технологическими процессами, ведение машинного журнала и др.

Ограничитель нагрузки, воздействующий на шаг винта, обеспечивает защиту ГД от перегрузок путем уменьшения шага винта при превышении ходом рейки топливных насосов h_p допустимой подачи топлива $h_{p\text{доп}}$, которая определяется в функции от частоты вращения ГД и сигнала задания с пульта управления.

Сигнал рассогласования усиливается пропорциональным звеном с коэффициентом усиления K_m , равным 1, который в случае необходимости может быть изменен. Сигнал, подаваемый на исполнительный механизм, сравнивается с сигналом от ограничителя нагрузки. Меньший из них подается на трехточечный регулятор ТРС, который по пропорционально-интегральному закону генерирует импульсы на шаговый электродвигатель. Последний воздействует посредством тяги на управляющий золотник механизма изменения шага.

В процессе эксплуатации было установлено, что используемая линейная ограничительная зависимость является чрезмерно упрощенной, в связи с чем на маневровых режимах (разгон) двигатель испытывает тепловые перегрузки. Об этом свидетельствует дымный выхлоп на этих режимах.

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать математическую модель [1, 2], реализованную в среде Matlab посредст-

вом расширения Simulink (рис. 1). Готовая модель системы и устройства дает возможность строить модели, имитировать динамические системы, исследовать их работоспособность и совершенствовать проекты. Данная модель включает в себя пять основных подсистем.

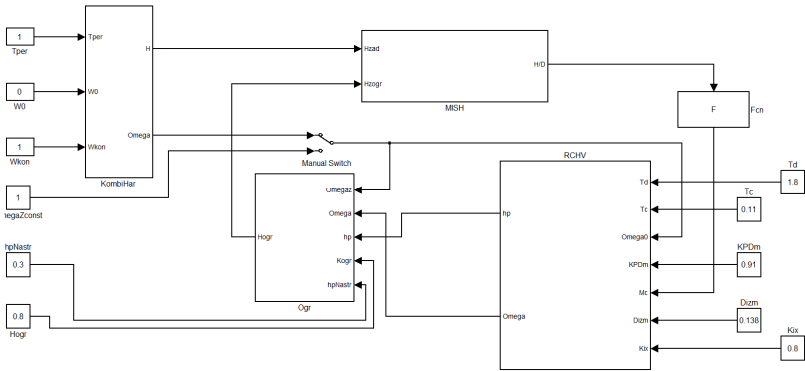


Рис. 1. Модель динамики пропульсивного комплекса с ВРШ в среде Simulink

Подсистема, подписанная как KombiHar, реализует работу пропульсивного комплекса по комбинаторной программе нагружения, т.е. при перемещении рукоятки управления из положения W0 в положение Wkon происходит одновременное изменение задания шага винта и частоты вращения [3]. При этом предусмотрена задержка времени Трег изменения сигнала задания. Посредством переключения ключа ManualSwitch можно обеспечить моделирование работы дизеля при постоянной частоте вращения.

Блок MISH моделирует работу механизма изменения шага. На вход этого блока подается сигнал задания Hzad, который сравнивается с сигналом ограничителя нагрузки Hzogr. Модель subsystemы моделирования этого блока приведена на рис. 2.

Для моделирования момента сопротивления и упора гребного винта можно использовать выражения

$$P = K_1 \rho_{\text{в}} n_{\text{а}}^2 D_{\text{а}}^2; M_p = K_2 \rho_{\text{в}} n_{\text{а}}^2 D_{\text{а}}^5,$$

где K_1 и K_2 – безразмерные коэффициенты, зависящие от относительной поступи винта, а также шагового и дискового отношений; $n_{\text{в}} = \omega_{\text{в}} / (2\pi)$, $\omega_{\text{в}}$ – частота вращения винта, с^{-1} , $\omega_{\text{в}} = \omega_{\text{д}} / i_{\text{р}}$ ($i_{\text{р}}$ – передаточное отношение редуктора); $D_{\text{в}}$ – диаметр винта, м.

Относительная поступь винта, используемая для расчета коэффициентов K_1 и K_2 определяются через универсальные коэффициенты K_{1y} и K_{2y} , не зависящие от поступи винта:

$$E_{1\delta} = \frac{E_{1\delta_0}}{1 - \lambda_{\delta_0}^2}; E_{2\delta} = \frac{E_{2\delta_0}}{1 - \lambda_{\delta_0}^2},$$

где λ_{δ} – универсальная поступь,

$$\lambda_{\delta} = \frac{\lambda_d}{\sqrt{1 - \lambda_{\delta_0}^2}} = \frac{v_d}{\sqrt{v_d^2 + n_a^2 D_a^2}},$$

λ_p – относительная поступь винта, $\lambda_p = v_p / (n_b D_b)$; v_p – расчетная скорость поступательного движения винта, м/с.

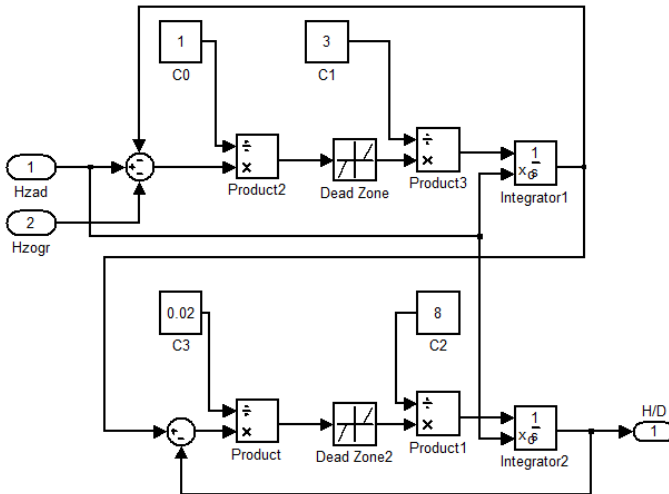


Рис. 2. Модель механизма изменения шага

Для определения коэффициентов K_{1y} и K_{2y} используем номограмму [4], построенную В. Г. Бакаевым и В. М. Лаврентьевым по результатам испытаний четырехлопастных винтов с дисковым отношением 0,45, проведенных Нордштормом в Гетеборгском опытном бассейне. Эта номограмма представлена в виде таблицы значений.

Используя вышеприведенные выражения, построен блок F (рис. 3), где значения номограммы заданы в виде таблицы значений.

Для моделирования работы дизеля с регулятором частоты вращения (блок RCHV на рис. 1.) и ограничителя нагрузки (блок Ogr на рис. 1.) использована разработанная ранее математическая модель [3, 5, 6]. Её реализация в среде Simulink приведена на рис. 4 и 5.

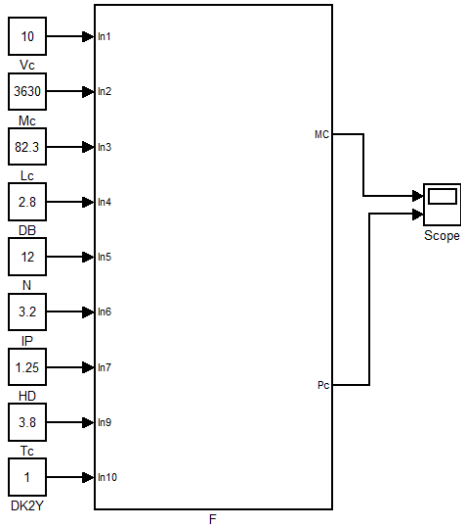


Рис. 3. Модель расчета момента и упора винта по диаграммам универсальной поступи

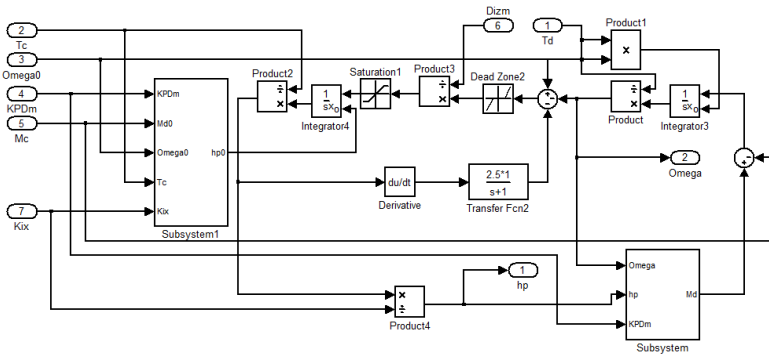


Рис. 4. Модель двигателя с регулятором частоты вращения

Исследование влияния различных видов ограничительных характеристик на показатели рабочего процесса дизеля проведено с использованием вышеописанной модели с учетом с результатов, полученных в работах [2, 3, 5]. Для оценки перегрузок использованы параметры рабочего процесса в цилиндре дизеля, применимость которых для этого обоснована в работе [4]. Результаты изменения параметров рабочего процесса приведены на рис. 7.

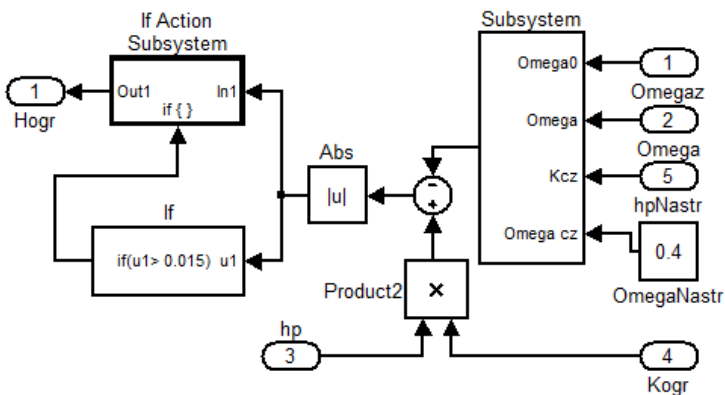


Рис. 5. Модель электронного ограничителя нагрузки, встроенного в систему управления типа KAMEWA

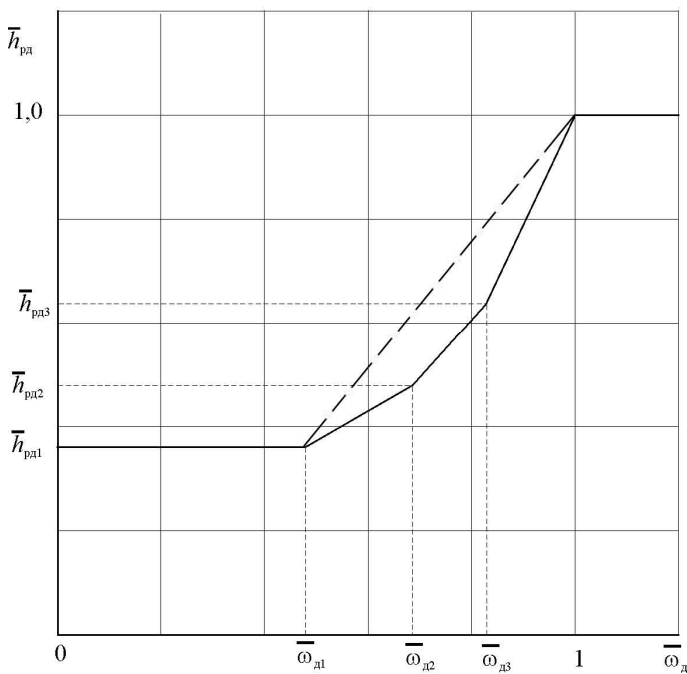


Рис. 6. Функциональные зависимости ограничителей нагрузки:
 ————— линейная; - - - - - усовершенствованная

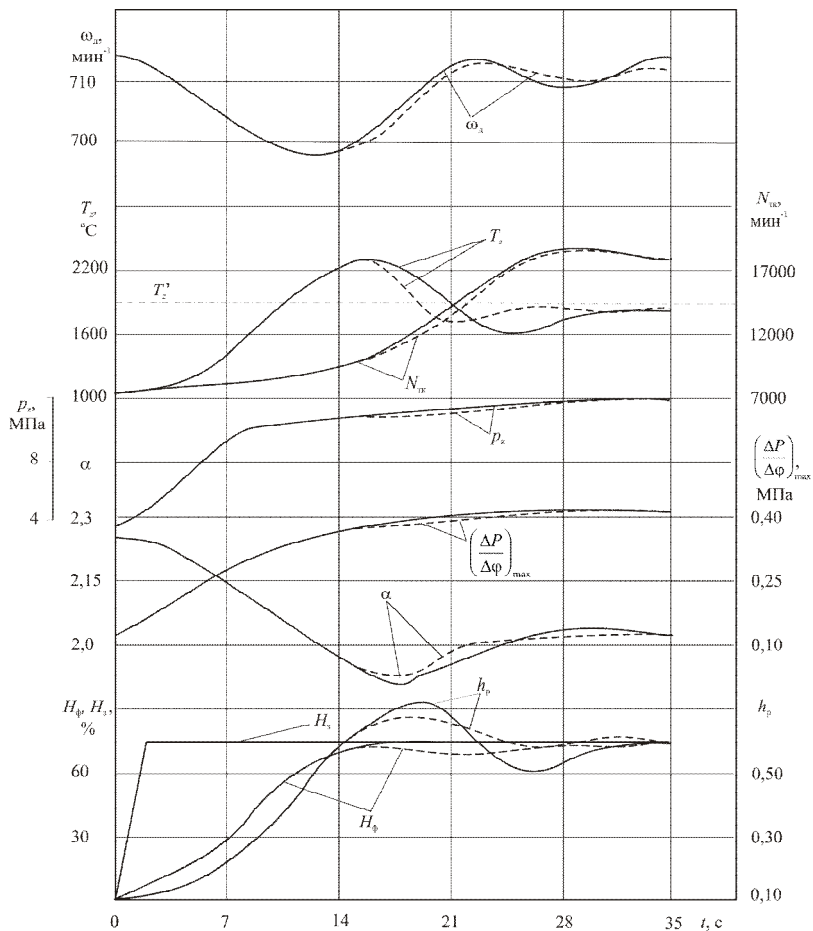


Рис. 7. Нагружение дизеля с электронным ограничителем нагрузки путем перемещения рукоятки управления из нулевого положения в положение 7 усл. ед. ($\omega_{д} = \text{const}$): ----- – ограничитель со штатной ограничительной зависимостью; ———— – ограничитель с криволинейной ограничительной зависимостью

Выводы:

применение криволинейной ограничительной зависимости не позволяет уменьшить перегрузки по величине, однако позволяет уменьшить их по продолжительности, это связано с инерционностью контура турбокомпрессора, повлиять на которую в процессе эксплуатации практически невозможно;

при использовании штатной ограничительной зависимости стабилизация системы после нанесения возмущения путем воздействия на рукоятку управления из положения 0 в положение 7 усл. ед. (при $\omega_d = \text{const}$) происходит медленнее, чем при использовании криволинейной ограничительной характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брошков С.Д. Модернизация электронного регулятора нагрузки на судах типа "Измаил" / С.Д. Брошков // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 2001. – Вып. 6. – Одесса: ОГМА. – С. 3 – 7.

2. Брошков С.Д. Совершенствование функциональных характеристик систем управления главными двигателями и винтом регулируемого шага SELMA-MARINE / С.Д. Брошков // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 2000. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА. – С. 3 – 7.

3. Горб С.И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления: учеб. пособие для ВУЗов /С.И. Горб. – М.: Транспорт, 1993. – 134 с.

4. Войткунский Я. И. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов – Л.: Судостроение, 1973. – 512 с.

5. Горб С.И., Бурденко А.Ф. Метод оптимизации гидромеханических регуляторов частоты вращения главных дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 1999. – Вып. 4. – Одесса: ОГМА. – С. 52 – 57.

6. Горб С.И. Эксплуатация электронных регуляторов нагрузки главных двигателей / Горб С.И., Верлатый Н.И., Лялькин А.С. // Морской транспорт: серия ТЭФ: экспресс-информ. – М.: В/О Мортехинформреклама, 1986. – Вып. 20 (640). – С. 7 – 17.