

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Худяков И. В., аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: igor.khudiakov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8900-7879;

Амелин М. Ю., аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: igor.khudiakov@mail.ru;

Рудакова А. В., д.т.н., профессор заведующая кафедрой Херсонского национального технического университета, e-mail: rudakovaanna25@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8053-4218

В статье рассматривается возможность оптимизации процессов управления дизельной энергетической установкой с целью обеспечения должного качества работы судовых объектов. Проведен анализ условий движения судна, режимов работы оборудования, современных средств автоматизированного управления скоростью морских судов. Обоснована необходимость проведения ряда исследований для разработки адаптивной системы дистанционного автоматизированного управления дизельной энергетической установкой в ходовых режимах.

Ключевые слова: дизельная энергетическая установка, оптимальный режим работы, оперативное управление, скорость судна, судовой двигатель.

Введение. Дизельные энергетические установки (ДЭУ) современных морских судов характеризуются высокой мощностью и имеют в своем составе большое число двигателей, механизмов и систем. Они обеспечивают движение судна с требуемой скоростью, снабжают электрической и тепловой энергией различных потребителей при условии обеспечения высокой эргономичности, надежности и длительности работы отдельных агрегатов и судовой энергетической установки в соответствии с правилами технической эксплуатации. Повышение эффективности эксплуатации ДЭУ возможно за счет оптимизации процессов управления ДЭУ в ходовых режимах и обеспечения должного качества работы, как судовых объектов, так и средств автоматизации [1].

Актуальность исследований. Дизельные двигатели обычно используются на большинстве судов в качестве главных и/или вспомогательных двигателей. Наиболее распространенным типом судовых энергетических установок являются дизельные установки с прямой передачей (рис. 1) [2].

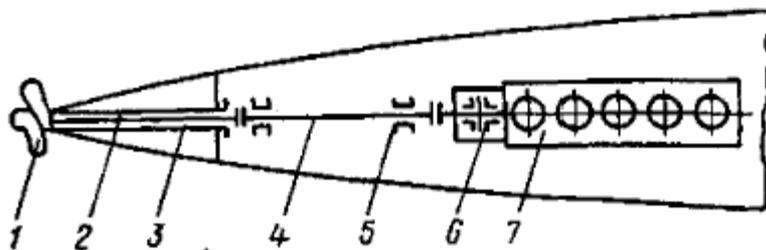


Рисунок 1 – Схема дизельной установки с прямой передачей:

- 1 – движитель (гребной винт); 2 – гребной вал; 3 – дейдвудная труба; 4 – промежуточный вал;
5 – опорные подшипники; 6 – упорные подшипники; 7 – главный двигатель

Судовые двигатели предназначены для работы на различных эксплуатационных режимах в широком диапазоне изменения мощностей и угловой скорости вала. При этом должны обеспечиваться требуемые технико-экономические характеристики двигателей в соответствии с техническими условиями.

Обеспечение этих характеристик на расчетных режимах не вызывает больших трудностей [3]. Однако в сложных навигационных и климатических условиях обеспечить

должную работоспособность ДЭУ при предельных мощностях и угловых скоростях вала главных двигателе зачастую не получается. В случае работы с максимальной мощностью двигатель может испытывать перегрузки по крутящему моменту, которые могут значительно превышать номинальное значение. Вследствие максимальной топливоподачи двигатель работает с тепловыми перегрузками. В ходовых режимах важной задачей является поддержание заданной угловой скорости вала двигателя для обеспечения движения судна с требуемой скоростью.

На большей части современных судов, соответствующих классу автоматизации А2 (А1), согласно требованиям Регистра, предусмотрено наличие интегрированной системы автоматизированного управления (ИСАУ) скоростью судна, которая по сути является совокупностью трех систем: дистанционного автоматизированного управления главным двигателем (СДАУ ГД), обеспечения целостности (СОЦ), адаптации к условиям эксплуатации (СА). СДАУ ГД предназначена для выполнения задаваемых с мостика команд по управлению работой главного двигателя (пуска, изменения режимов, остановки, поддержания назначенных режимов). СОЦ осуществляет операции мониторинга работы, обнаружения неполадок, диагностики неисправностей, защиты от поломок, восстановления целостности, аварийно-предупредительной сигнализации. СА предназначена для оптимизации рабочих процессов главного двигателя и его вспомогательных подсистем с учетом заданных критериев эффективности. Обобщенная структурная схема ИСАУ скоростью судна показана на рис. 2 [4].

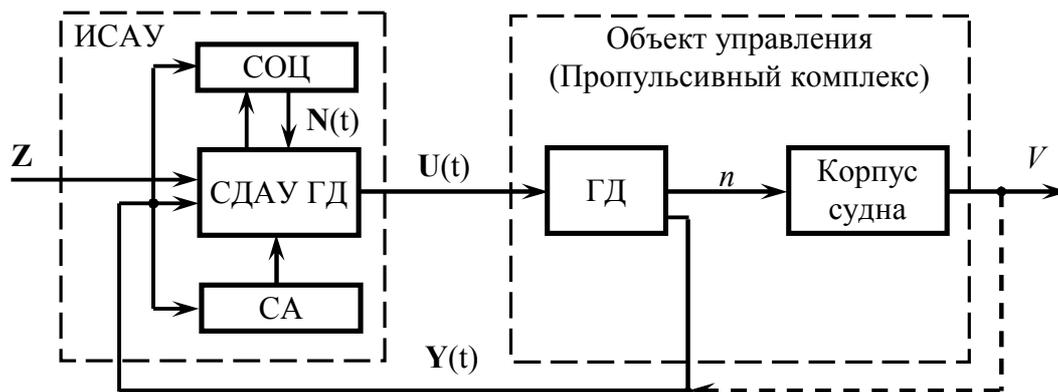


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема ИСАУ скоростью судна:

Z – задание (программа работы) системы; $U(t)$ – вектор управления главной движительной установкой; $N(t)$ – вектор воздействий, связанных с обеспечением целостности; $Y(t)$ – вектор параметров состояния ГДУ; n – частота вращения гребного винта; V – скорость хода

Процесс управления выполняется оператором и сводится к изменению заданий или программ работы автоматизированного оборудования. Параметры управляющего вектора $U(t)$ находятся по заданию системы Z и вектору состояния главной движительной установки (ГДУ) $Y(t)$, который непосредственно зависит от задания Z и от функций, выполняемых СОЦ, то есть от $N(t)$. Автоматические регуляторы обеспечивают поддержание наиболее важных параметров функционирования главных двигателей и вспомогательных механизмов. На главном двигателе для стабилизации его работы установлены регуляторы угловой скорости вала, температуры охлаждающей воды и масла, вязкости топлива, температуры продувочного воздуха. Однако не всегда оказывается возможным обеспечить высокое качество процессов управления главным двигателем, несмотря на использование в системе управления ДЭУ современных автоматических регуляторов [5].

Актуальной задачей является разработка и внедрение новых методов и технических средств для судовых систем дистанционного автоматизированного управления, которые

позволят повысить эффективность работы ДЭУ за счет использования методов адаптивного управления, что может привести к уменьшению топливотребления и повышению надежности и безопасности эксплуатации оборудования.

Постановка задачи. Целью исследований является анализ возможностей оптимизации процессов оперативного управления ДЭУ для повышения эффективности эксплуатации в динамических режимах работы судна с учетом навигационных и климатических условий.

Результаты исследований. Условия движения судна, работы главных двигателей и вспомогательных механизмов не остаются постоянными в связи с изменением состояния моря и погоды, фарватера и районов плавания, производственных заданий и рабочих режимов.

Режимы работы ДЭУ характеризуются совокупностью многих параметров, определяющих эффективную мощность N_e и эффективный удельных расход топлива g_e (экономичность) или эффективный коэффициент полезного действия η_e . К числу этих параметров относятся: крутящий момент M , угловая скорость вала ω , расход топлива G или положение органа топливоподачи h , давление наддува p_n , температура охлаждающей воды T и др. При исследовании двигателя, как объекта системы автоматического регулирования, управляющими воздействиями является количество подаваемого топлива, а в качестве возмущающих рассматривается момент сопротивления, приложенный к валу [6].

Динамические режимы работы двигателя определяются дифференциальным уравнением вида:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_c, \quad M_e = f(\omega, h), \quad M_c = f(\omega, \lambda_p), \quad (1)$$

где J – приведенный к оси вала момент инерции всех движущихся элементов двигателя, редуктора, валопровода и гребного винта с присоединенными массами воды. В реальных условиях статические характеристики эффективной мощности имеют вид, представленный на рис. 3. Уравнение (1) является нелинейным, так как в правой части находятся нелинейные зависимости.

В процессе управления ДЭУ при перемещении топливрегулирующего органа с целью увеличения топливоподачи ($h_1 > h_2 > h_3$) статистические характеристики смещаются вверх.

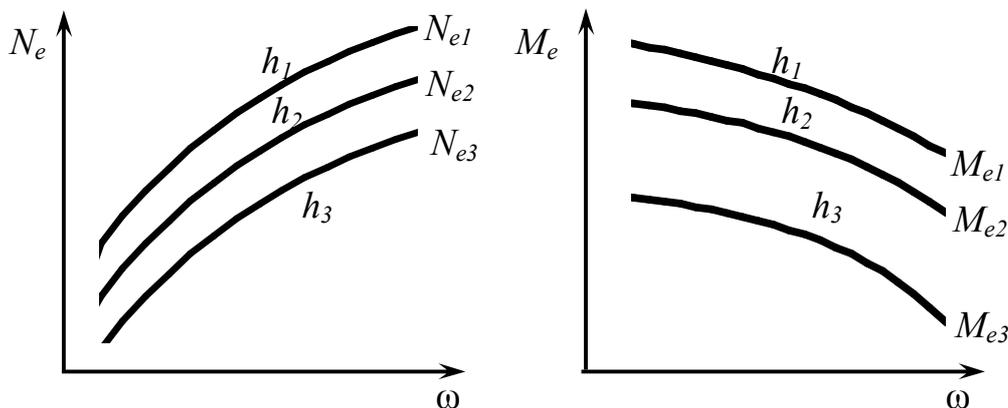


Рисунок 3 – Статические характеристики:

а) – эффективная мощность

б) – эффективный крутящий момент

Момент сопротивления вращению гребного винта (винтовые характеристики) соответствуют квадратичному закону:

$$M_c = K_M \omega^2, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вала (гребного винта).

Винтовые характеристики мощности сопротивления пропорциональны кубическому закону:

$$N_c = K_N \omega^3. \quad (3)$$

В зависимости от положения регулирующих органов и условий плавания, характеристики (2) – (3) могут изменяться, как показано на рис. 4. При ухудшении условий плавания (встречный ветер, обрастание поверхности корпуса и винта и т.п.) момент сопротивления вращению M_c возрастает.

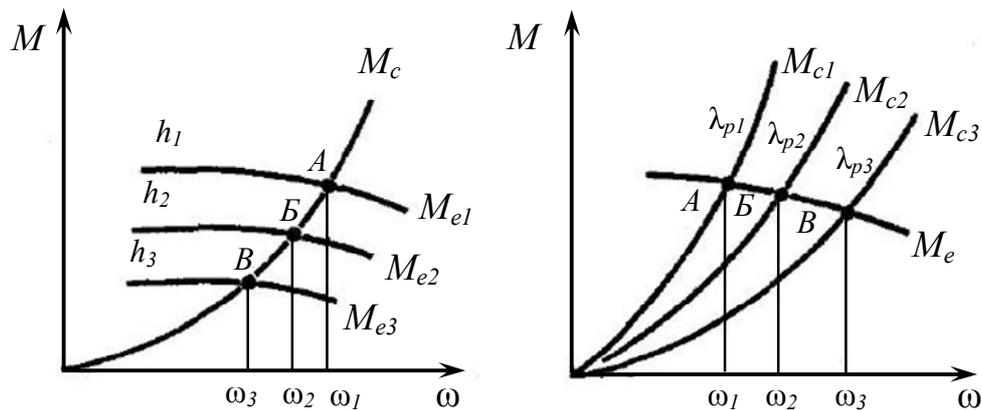


Рисунок 4 – Установившиеся режимы работы двигателя:

а) – при различной топливоподаче; б) – при различных условиях плавания

В реальных условиях работы ДЭУ могут происходить одновременные изменения положений статических характеристик эффективной мощности и мощности сопротивления. На рис. 5 показано область возможных рабочих режимов работы, которая ограничивается предельными графиками статических характеристик максимальной $N_{e1} = f(h_{\max})$ и минимальной эффективной мощности $N_{e2} = f(h_{\min})$, минимальной мощности сопротивления $N_{c2} = f(\lambda_{p_{\max}})$ и граничными значениями минимальной и максимальной частоты вращения. Область возможных режимов работы на рис. 5 показана в заштрихованном виде.

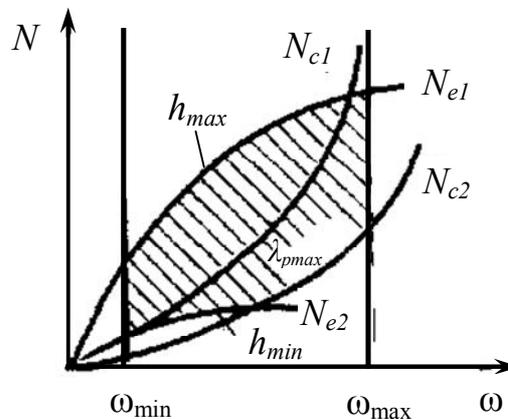


Рисунок 5 – Область возможных режимов работы ДЭУ

Винтовые характеристики (2) являются характеристиками нагрузки для судового двигателя, работающего на гребной винт, и зависят от условий движения судна и гребного винта (силы или направления ветра, степени волнения моря или глубины фарватера, состояния поверхности корпуса судна или винта, осадки судна и других факторов) [1]. При ухудшении условий плавания (встречный ветер, обрастание поверхности корпуса и винта и т.д.) момент сопротивления вращению M_c возрастает, при этом изменяются и скорость судна, и относительная поступь винта:

$$\lambda_p = \frac{2\pi v_c}{\omega_b D}, \quad (4)$$

где v_c – скорость судна; ω_b – угловая скорость гребного винта; D – диаметр гребного винта.

Возмущающие воздействия по нагрузке могут возникать, например, при оголении винта или перекладке лопастей винта регулируемого шага, повороте рулей, изменении глубины под килем или силы действующего на корпус судна ветра, волнения и других факторов. Все это инициирует возникновение динамических режимов, в результате которых двигатель испытывает избыток или недостаток количества энергии.

Наиболее важными параметрами, которые в большей степени характеризуют динамический режим работы, являются угловая скорость вала и температура охлаждающей воды двигателя. В маневренных режимах из-за вероятного возникновения тепловых перегрузок область возможных рабочих режимов значительно сужается и надежность ДЭУ существенно зависит от эффективности работы вспомогательных подсистем.

Одним из основных путей повышения эффективности работы судна является эксплуатация энергетической установки на оптимальных режимах работы. Минимизация удельного расхода топлива является целью оптимизации в ходовых режимах, а в маневренных – обеспечение заданной траектории движения судна.

Автоматические регуляторы способны поддерживать заданную угловую скорость вала двигателя путем воздействия на его топливорегулирующий орган, однако коэффициенты их настройки определяются для заранее известных статических характеристик для эффективной мощности, эффективного крутящего момента, винтовых характеристик, а регулирование осуществляется по предельным значениям в области возможных режимов. При стохастично изменяющихся внешних условиях плавания наблюдается отклонение от оптимальных режимов работы.

Для разработки надлежащих методов и средств оперативного управления судовой ДЭУ необходимо осуществить исследования в следующей последовательности: 1) исследование влияния различных факторов на эффективность работы ДЭУ; 2) разработка и усовершенствование математических моделей, описывающих процесс функционирования пропульсивного комплекса; 3) формулировка функционала цели и задачи оптимального управления ДЭУ; 4) обоснование структуры и состава подсистемы мониторинга для измерения параметров режима работы ДЭУ (внутренних и внешних); 5) разработка адаптивную систему для управления ДЭУ в изменяющихся условиях; 6) создание и усовершенствование аппаратных и программных средств для оперативного управления пропульсивным комплексом и их апробация путем экспериментальных исследований.

Выводы. Эффективная работа ДЭУ при использовании автоматизированной системы дистанционного управления возможна путем усовершенствования работы верхнего уровня управления. Усовершенствование системы управления ДЭУ должно сопровождаться внедрением современных подсистем мониторинга, обеспечивающих постоянный контроль параметров внешних условий, состояния объекта и состояния оборудования. Применение интегрированной автоматизированной системы для оперативного управления ДЭУ с использованием методов адаптивного управления обуславливает гарантированную поддержку рациональных условий функционирования элементов ДЭУ, а также экономичное использование различных ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланчуковский В. И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок : учебник / В.И. Ланчуковский, А. В. Кузьминых. – М. : Транспорт, 1983. – 320 с.
2. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания : учебник. / Ю. А. Пахомов. – М. : ТрансЛит, 2007. – 528 с.
3. Автоматизация процессов в судовой энергетике : учебник для вузов. / И. Г. Беляев, Н. Г. Курзенков, В. И. Седых, В. Н. Слесаренко. – Владивосток, 1999. – 453 с.
4. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал – Одесса : Фенікс, 2007. – 328 с.
5. Woodward Electronic Controls for Engines. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.woodward.com/electroniccontrolsengine.aspx>.
6. Токарев Л. Н. Системы автоматического регулирования. Примеры схем и структур, статические и динамические характеристики, математические модели, элементы теории регулирования / Л. Н. Токарев – СПб. : «Нотабене», 2001. – 192 с.

REFERENCES

1. Lanchukovskyi, V.I. & Kuzmynykh, A.V. (1983) Avtomatyzyrovannyye systemy upravleniya sudovykh dyzelnykh y hazoturbynykh ustanovok. Moskva: Transport.
2. Pakhomov, Yu.A. (2007) Sudovye enerhetycheskiye ustanovky s dvyhateliamy vnuhrenneho shoraniya. Moskva: TransLyt.
3. Beliaev, Y.H., Kurzenkov, N.H., Sedykh, V.Y., Slesarenko, V.N. (1999) Avtomatyzatsiya protsessov v sudovoi enerhetyke: uchebnyk dlia vuzov. Vladyvostok.
4. Vahushchenko, L.L., Tsymbal, N.N. (2007) Systemy avtomatycheskoho upravleniya dvyzhenyem sudna. Odessa: Feniks.
5. Woodward Electronic Controls for Engines. [www.woodward.com](http://www.woodward.com/electroniccontrolsengine.aspx). – Retrieved from <http://www.woodward.com/electroniccontrolsengine.aspx>.
6. Tokarev, L.N. (2001) Systemy avtomatycheskoho rehulyrovaniya. Prymery skhem i struktur, statycheskiye y dynamycheskiye kharakterystyky, matematycheskiye modely, elementy teoryu rehulirovaniya. SPb.: «Notabene».

Худяков І. В., Амелін М. Ю., Рудакова Г. В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У статті розглядається можливість оптимізації процесів управління дизельної енергетичної установкою з метою забезпечення належної якості роботи судових об'єктів. Проведено аналіз умов руху судна, режимів роботи обладнання, сучасних засобів автоматизованого управління швидкістю морських суден. Обґрунтовано необхідність проведення ряду досліджень для розробки адаптивної системи дистанційного автоматизованого управління дизельної енергетичної установкою в ходових режимах.

Ключові слова: дизельна енергетична установка, оптимальний режим роботи, оперативне управління, швидкість судна, судовий двигун.

Khudiakov I. V., Amelin M. Y., Rudakova A. V. IMPROVING THE EFFICIENCY OF SHIP DIESEL POWER PLANTS

The possibility of optimizing the management process of the diesel power plant in order to ensure proper quality of marine facilities. Analysis of the conditions for movement of the vessel, equipment operation modes, advanced automated management tools of speed ships are spended. The necessity of carrying out a series of studies for the development of an adaptive system of remote automated control of the diesel power plant in the running mode.

Keywords: diesel power plant, the optimal mode of operation, operational management, speed of the vessel, the ship's engine.

© Худяков І. В., Амелін М. Ю., Рудакова Г. В.

Статтю прийнято
до редакції 07.11.16