ISSN 1815-6770

Министерство образования и науки Украины
ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

Судовые энергетические установки

Научно-технический сборник

Выпуск 18

Одесса
2007

ББК 39.46
С 89
УДК 629.123.066

Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 18. – Одесса: ОНМА, 2007. – 103 с.

Сборник посвящен проблемам судовой энергетики, проектирования, модернизации и эксплуатации судовых энергетических установок, методам повышения эффективности и надёжности использования судовых технических средств.

Для научных работников и специалистов.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф. С.И. Барсуков, ОИСВ; к.т.н., проф. ОНМА Б.П. Богданов, (отв. секретарь); д.т.н., проф. Л.В. Вишневский, ОНМА; д.т.н., проф. А.А. Власенко, ОНМА; д.т.н., проф. В.А. Голиков, к.т.н., проф. А.А. Голиков, ОНМА; к.т.н., проф. В.К. Голубев, ОНМА; д.т.н., проф. С.И. Горб, ОНМА; д.т.н., проф. Н.Ф. Гречко, ОНМА; д.т.н., проф. В.Г. Ивановский, ОНМУ; д.т.н., проф. В.В. Капустин, СНТУ; к.т.н., проф. ОНМА М.А. Колегаев, (редактор); д.т.н., проф. А.И. Коханский, ОНМА; д.т.н., проф. М.В. Миюсов, ОНМА; д.т.н., проф. Н.С. Молодцов, ОНМА; к.т.н., проф. А.Н. Пипченко, ОНМА; д.т.н., проф. Г.Ф. Романовский, НУК; д.т.н., проф. С.С. Рыжков, НУК; д.т.н., проф. П.С. Суворов, ОАО УДП; д.т.н., проф. С.М. Сурин, ОНМА; д.т.н., проф. В.В. Тарапата, ОНМА; д.т.н., проф. С.А. Ханмамедов, ОНМА.

Адрес редакционной коллегии: 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8, Одесская национальная морская академия (ОНМА), кафедра СЭУ.

Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: seu@ma.odessa.ua

Компьютерная вёрстка Шакун С.Н.

Утверждено учёным советом ОНМА, протокол № 11 от 26.06.2007

© Одесская национальная морская академия

СОДЕРЖАНИЕ

Бекерский В.И. Контактные напряжения в гибких рабочих органах судовых вспогательных механизмов 4
Голиков А.А., Гродзицкий М.А. Совершенствование характеристик рабочих тел СДВС для уменьшения эмиссии NO_x 10
Будашко В.В. Оцінка ефективності передачі потужності в суднових дизель-електричних комплексах 20
Войтецкий И.Е., Вишневская В.М. Алгоритм обучения и оценки уровня знаний морских специалистов с использованием системы нечеткого вывода 25
Дулдиер А.П. Формализация параметров рабочего процесса в топках котельных установок при их оценке по цветовым характеристикам излучения пламени 30
Радченко О.П. О применении СВЧ-излучения для подготовки топлива в СЭУ 34
Миюсов М.В., Денисов В.Г. Повышение безопасности газотурбинных двигателей 37
Жиленков А.А. Разработка вопросов устойчивости полупроводниковых преобразовательных устройств в сети ограниченной мощности 42
Истомин В.И. Расчет скорости фильтрации нефтесодержащих вод СЭУ в тканевых фильтрах с учетом их пористости 49
Воловник М.С. Разработка и исследование микропроцессорной системы регулирования частоты вращения главного двигателя 53
Коханский А.И., Колпакчи Э.М. Математическая модель нестационарных процессов охлаждения наддувочного воздуха судовых дизелей 59
Кардаш В.П., Ханмамедов С.А. Повышение эффективности эксплуатации судовых устройств 70
Варбанец А.Н., Версаль А.Ф. Александровская Н.И. Новый подход к адаптивному авторулевому 78
Толстов А.А., Лещенко В.В., Логвиненко Е.С. Метод распределения реактивной мощности при параллельной работе синхронных генераторов 85
Рефераты 97
Правила оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки» 102

УДК 677.72.001.622.67.531.3

Бекерский В. И.
ОНМА

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ГИБКИХ РАБОЧИХ ОРГАНАХ СУДОВЫХ ВСПОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.

В морехозяйственном комплексе, рыбном хозяйстве, в аварийно-спасательных и подводно-технических работах гибкие рабочие органы (ГРО) используются при выполнении самых разнообразных основных и вспомогательных операциях (погрузочно-разгрузочных работах в портах, на рейде и в открытом море, буксировке объектов морем, вылове рыбы тралением, креплении грузов по-походному). Используются ГРО и в судовых устройствах – грузовых, рулевых, шлюпочных и специальных. Во всех перечисленных механизмах гибкий рабочий орган является основным элементом, который состоит из проволок, прядей и органического, синтетического или металлического сердечника. Решение задачи по определению контактных напряжений в (ГРО) позволит сократить объем потребления гибких рабочих органов в морехозяйственном комплексе Украины: повысит безопасность мореплавания, проведение исследовательских работ по изучению Мирового океана, при разведке и эксплуатации подводных месторождений полезных ископаемых, подводной геологии и топографии, для выбора трасс подводных кабельных линий и трубопроводов и проверки качества работ по их прокладке, а также по изучению экологии моря, что, в свою очередь, снизит затраты на выполнение всех перечисленных операций.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Величину интенсивности радиальной нагрузки, испытываемой элементом ГРО проволокой, имеющей форму спирали, на поддерживающий ее слой можно определить по формуле [1]

$$f_n = F_x \omega_b,$$

где F_x — усилие в проволоке, направленное вдоль оси (ГРО); ω_b — кривизна проволоки.

Для спирального ГРО

$$f_n = \frac{F_0 C \omega_b}{i}. \qquad (1)$$

Здесь F_0 — растягивающее усилие в спиральном ГРО; C — коэффициент, зависящий от конструкции ГРО (для круглопрядных ГРО C =1); I — число проволок в ГРО.

На прямом участке ГРО

$$\omega_b = \frac{1}{\rho} = \frac{\sin^2 \alpha}{r}, \tag{2}$$

где ρ — радиус кривизны проволоки; r — радиус слоя проволок, радиальная нагрузка которых определяется относительно центра тяжести сечения ГРО; α — угол свивки проволок в ГРО.

Подставляя формулу (2) в (1) при C =1, получим

$$f_n = \frac{F_0 \sin^2 \alpha}{i \cdot r}. \tag{3}$$

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

С целью определения возможности использования формулы (3) для подсчета величины интенсивности радиальной нагрузки проволок на прямом участке ГРО нами для спирального ГРО конструкции 1+6+12 с линейным касанием проволок вычислены значения f_n и результаты сопоставлены с точным значением этой величины, приведенной в работе [2] (табл.)

Величины интенсивности радиальной нагрузки проволок

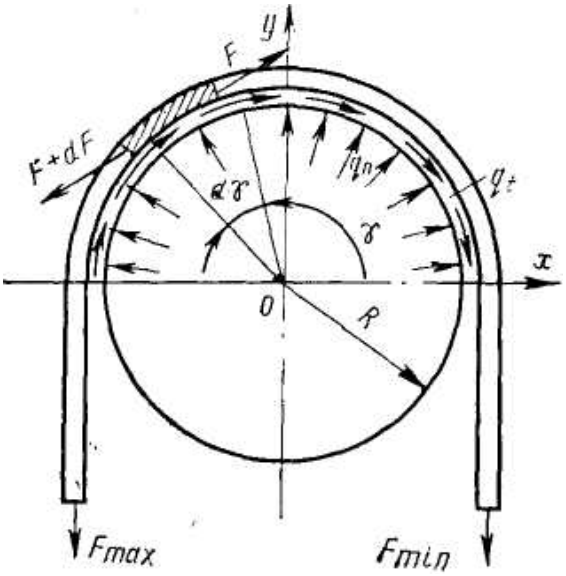
Нагрузка и параметры ГРО	Н/м по формулам	
	Из работы [2]	По формуле (3)
$F_0 = 10000$ Н $1+6+12$; $d = 0,005$ м $\delta = 0,001$ м, $\alpha = 16^0$	0,0201	0,0206

Выполненное сравнение показывает, что величина f_n, вычисленная по формуле (3), отличается примерно на 2,5 % от f_n, приведенного в работе [2], которое определялось решением более сложного уравнения.

Рассмотрим теперь участок ГРО, изогнутого на блоке (рисунок), и исследуем радиальное давление в его элементах. Будем считать, что $F_{\max} = F_1$, а $F_{\min} = F_2$. При условии равновесия блока относительно оси X распределенная нагрузка от сил трения, интенсивность которой обозначим q_x, должна быть уравновешена распределенной контактной нагрузкой с интенсивностью q_n. Следовательно, на подвижном блоке натяжение ветвей ГРО $F_1 \neq F_2$. Поэтому контактная нагрузка не может

быть постоянна по дуге обхвата. В противном случае проекция распределенных сил на ось X осталась бы неуравновешенной, так как F_1 и F_2 перпендикулярны этой оси. Подтверждением этому служат результаты выполненных нами испытаний, показывающих, что при движении каната по блоку перемещения блока вдоль оси X отсутствуют.

На основании опытов [3], проведенных на неподвижном блоке при $F_1 = F_2$, установлено, что нормальное давление ГРО по блоку распределяется равномерно по дуге обхвата ГРО блока. Это закономерно, потому что силы трения между ГРО и блоком при неподвижном блоке не реализуются. Если $F_1 \neq F_2$ — ГРО перемещается по блоку, появляются силы трения. При этом $q_t = 0$, а $q = \text{const}$. Поскольку контактные усилия q_n не создают момента относительно оси блока, будем считать, что они постоянны по всей зоне контакта, и тогда среднее значение интенсивности сил трения по дуге контакта ГРО с блоком можно определить, используя уравнение моментов всех сил относительно оси блока.



Участок гибкого рабочего органа, изогнутого на блоке

Момент сил трения уравновешивается моментом усилий натяжения ГРО, при этом угол обхвата ГРО блока принимаем равным π:

$$\left(F_1 - F_2\right) R = \int_0^{\pi} q_t R^2 d\gamma ,$$

откуда

$$q_t = \frac{F_1 - F_2}{\pi R} .$$

Используя метод сквозных сечений, определим нормальное усилие F_t, удерживающее ГРО на блоке, для чего составим уравнение момен-

тов всех сил, приложенных к одной из отсеченных частей, относительно центра тяжести блока:

$$F_t R + q_t \gamma R^2 - F_1 R = 0,$$

из которого

$$F_t = F_1 \left(1 - \frac{\gamma}{\pi}\right) + F_2 \frac{\gamma}{\pi}. \quad (4)$$

Усилие, приходящееся на одну проволоку ГРО

$$P_t = \frac{F_t}{i}. \quad (5)$$

Удельное радиальное давление между проволоками при перемещении ГРО по блоку

$$\tilde{f}_n = P_t \omega_b. \quad (6)$$

При набегании ГРО на блок длина элемента оси ГРО, изогнутого на блоке

$$l_0 = (R + r)\gamma,$$

а длина элемента проволоки

$$l = \frac{l_0}{\cos\alpha} = \frac{r\varphi}{\sin\alpha},$$

где φ — угол, фиксирующий положение проволоки в сечении изогнутого ГРО, отсчитываемый от вертикальной оси в поперечном сечении ГРО.

Подставляя в формулу (12) значение l_0, находим

$$\gamma = \frac{r\varphi}{R + r} \cdot \operatorname{ctg}\alpha.$$

Кривизна проволоки ω_b переменна и может быть вычислена по формуле

$$\omega_b = \frac{\cos^2\alpha}{R}\cos\varphi + \frac{\sin^2\alpha}{r}\eta(\varphi) + \frac{\sin^2\alpha}{r}.$$

Если пренебречь поперечным сужением ГРО, продольными и угловыми смещениями проволок, то

$$\eta(\varphi) = -\frac{r}{R}\sin\alpha\cos\alpha\cos\varphi.$$

Таким образом

$$\omega_b = \left(\frac{\cos^2\alpha}{R} - \frac{\sin^2\alpha}{R}\sin\alpha\cos\alpha\right)\cos\varphi + \frac{\sin^2\alpha}{r}.$$

Рассмотрим случай, когда $F_1 = F_2 = F_0 = 4750$ Н (блок неподвижен). Для ГРО 1+6+12, $d = 0{,}005$ м, $\delta = 0{,}001$ м, $\alpha = 16^{\circ}$ определим удельное радиальное давление между его проволоками на прямом участке f_n и давление на изогнутом участке ГРО $\tilde{f}_n$, после чего вычислим контактные напряжения по формуле

$$\sigma_{\max} = 0,418\sqrt{f_n E \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2}}, \tag{7}$$

где E — модуль упругости материала проволок; r_1 и r_2 — радиусы контактирующих проволок.

При передаче движения гибкой связью на основании зависимости Эйлера можно записать

$$F_1 = F_2 l^{\mu\beta}, \tag{8}$$

где μ — коэффициент трения (для пары сталь–сталь $\mu = 0{,}13$); β — угол дуги упругого скольжения, равный π.

Отсутствие проскальзывания ГРО по блоку выражается условием

$$l^{\mu\beta} \le 1,5 \tag{9}$$

Обозначая дополнительное усилие в ветви ГРО, возникающее за счет инерционных усилий, через $F_д$, получим

$$F_1 = F_0 + F_д; \qquad F_2 = F_0 - F_д. \tag{10}$$

На основании формул (8), (9) и (10) можно записать:

$$F_1 = \frac{2l^{\mu\beta}}{1 + l^{\mu\beta}} F_0; \qquad F_2 = \frac{2}{1 + l^{\mu\beta}} F_0; \qquad F_д = \frac{l^{\mu\beta} - 1}{l^{\mu\beta} + 1} F_0 \tag{11}$$

Выполнив вычисления по полученным формулам, будем иметь

$$F_1 = 5700\ H; \qquad F_2 = 3800\ H; \qquad F_\partial = 950\ H.$$

Подставляя значения F_1 и F_2 в (4), найдем

$$F_t = 570 - 61\gamma \tag{12}$$

Используя формулы (12), (5), (6) и (7), можно определить контактные напряжения в проволоках ГРО, пробегающего по блоку.

В заключение проверим исследуемую систему гибкий рабочий орган – блок на наличие фреттинг-коррозии. Пренебрегая пространственной кривизной проволоки можно записать:

$$\Delta l = \frac{F_x l_{пр}}{E A_{пр}},$$

где $F_x = F/i$ (F — усилие в ГРО, i — число проволок в нем); $l_{пр} = \pi D/2$ — длина обхвата проволокой блока; E — модуль упругости материала проволок; $A_{пр} = \pi\delta^2/4$ — площадь сечения проволоки.

Для ГРО, приведенного в таблице, величина $\Delta l_{пр}$ при нагрузке на него F = 10000 Н равна 1,6 мм, что много больше 20 микрон, а значит процесс фреттинг-коррозии будет иметь место.

Выводы и перспектива дальнейшей работы

1. Выполненные нами расчеты по полученным формулам показывают, что внутренние контактные напряжения на прямом участке ГРО при его движении по блоку отличаются от аналогичных напряжений в неподвижном ГРО в среднем на 10 %.

2. На изогнутом участке ГРО контактные напряжения в движущемся ГРО всегда больше, чем в неподвижном в среднем на 9,3%.

3. Процесс фреттинг-коррозии можно исключить, только увеличивая диаметр проволоки. Так, если для ГРО параметры которого приведены в таблице, принять δ = 0,005 м, фреттиг-коррозии не будет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекерский В.И. Применение канатов на судах и в портах. – М.: Транспорт, 1986.
2. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – К.: Техника, 1966.
3. Коваленко Н.И. Проволочные канаты в эксплуатации. Днепропетровское областное издательство, 1957.

УДК 621.436.72 (045)

Голиков А.А., Гродзицкий М.А.
ОНМА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ТЕЛ СДВС ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭМИССИИ NO_X

Форсирование судовых двигателей, расширение потребностей использования флота, увеличение парка судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) повлекло рост вредных выбросов в атмосферу.

В связи с повышением требований к чистоте окружающей среды были ужесточены правила по предотвращению загрязнения воздуха с судов, MARPOL 73/78 [1]. Перед фирмами, производителями двигателей, поставлена задача повышения экологичности судовых энергоустановок.

Основное количество азота, участвующего в рабочем процессе, поступает из атмосферы 78% и до 3% из топлива. На окисление углеводорода используется 4…8 % кислорода, а остальная часть уходит с отработавшими газами. Азот не принимает участия в горении топлива. Однако, при высокой температуре сгорания топлива в цилиндре 1800…2600 ^{o}C азот становится активным с кислородом, образуя окислы азота. Первичной реакцией является образование окиси азота NO. Далее, в процессе расширения и выпуска газов, часть NO преобразуется в двуокись NO_2 и N_2O (5 % и 1 % соответственно) от первоначального количества NO.

Окислы азота в атмосфере приводят к образованию "смога", что является проблемой многих городов. Преобразование NO в NO_2 продолжается в атмосфере и, растворяясь в воде окислы азота, в конечном итоге ухудшают качество почвы.

Исследования Регистра Ллойда показывают, что при нагрузке около 80% у малооборотных двигателей (МОД) выбросы NO_x составляют 1300…1800 ppm при содержании O_2 15%., у среднеоборотных двигателей (СОД) не более 1000 ppm.

Нормы по предельным значениям вредных выбросов для типов судов различны: для балкеров, танкеров и судов генерального груза величина NO_x составляет 12 г/(кВт·ч); для РО-РО, пассажирских судов и ледоколов — 8 г/(кВт·ч); для судов снабженцев, рыболовных — 5 г/(кВт·ч); для вспомогательных двигателей – 8 г/(кВт·ч).

Доля окислов азота NO_x и окислов серы SO_x в отработавших газах (ОГ) дизелей составляет более 80% объема всех вредных выбросов, поэтому задача снижения эмиссии этих компонентов составляет основу проблемы создания экологически чистых судовых дизелей.

Известно [2], что отработавшие газы дизелей также как и смесь свежего заряда с остатками газов относятся к рабочим телам СДВС, на которые можно воздействовать с целью изменения их характеристик и уменьшения количества вредных выбросов.

Поэтому целью данной работы является снижение эмиссии окислов азота при работе СДВС, посредством совершенствования характеристик рабочих тел, используемых для сжигания органического топлива.

Объектом исследования являются процессы тепло и масообмена в рабочих телах СДВС.

Обзор литературных источников [3-6] позволяет сделать вывод, что для снижения концентрации NO_x в отработавших газах СДВС используется два основных метода:

1. Изменение термодинамических характеристик рабочего тела используемого для сжигания органического топлива в дизелях.
2. Физико-химическая обработка рабочего тела (отработавших газов) полученного в процессе сгорания органического топлива в цилиндрах СДВС.

Для реализации **первого метода** используются следующие способы:

- изменение угла опережения впрыскивания топлива;
- управление подачей топлива (началом подачи топлива с целью снижения NO_x и концом топливоподачи с цепью снижения выбросов сажи);
- повышение степени сжатия;
- повышение давления впрыскивания топлива. Увеличение числа сопловых отверстий распылителя форсунки, что приводит к улучшению смесеобразования;
- изменение параметров наддувочного воздуха;
- оптимизация формы камеры сгорания и формы топливных струй;
- увеличение числа форсунок, устанавливаемых на один цилиндр;
- применение рециркуляции части выхлопных газов;
- использование водоэмульсионного топлива (с соответствующей модификацией системы топливоподготовки и системы топливоподачи);
- переоборудование двигателя для работы на двойном роде топлива, жидком и газообразном;
- применение многофункциональных присадок к топливу, обеспечивающих снижение образования вредных для окружающей среды веществ.

Второй метод предусматривает поглощение вредных окислов твердыми или жидкими поглотителями из продуктов сгорания органического топлива.

Ряд работ научно-педагогического состава ОНМА и других вузов посвящен проблемам экологии связанных с эмиссией окислов азота. Так в работе [7] рассматривается вопрос совершенствования воздухоснабжения дизеля как фактора, оказывающего влияние на параметры рабочего процесса, экологичность и общую теплонапряженность.

Варьируя значением температуры наддувочного воздуха, производится поиск оптимума между значением тепловых показателей и топливной экономичностью.

Предложено усовершенствование теплообменного аппарата: разделить его на две различные части (меньшая охлаждается водой от системы кондиционирования), и установкой двух независимых регуляторов температуры. Включение регулятора от системы кондиционирования происходит когда регулятор забортной воды открыт на 85-90%. Дополнительное охлаждение наддувочного воздуха сопровождается его увлажнением, а выделившаяся влага, попадая в камеру сгорания, испарится, что дополнительно снижает температуру цикла. Снижение температуры наддувочного воздуха с 80 ^{o}C до 40 ^{o}C позволяет понизить выброс окиси азота на 40 – 45%.

В работе [8] рассматриваются возможности использования присадки воды (G_w, кг/ч) к воздуху ($G_в$, кг/ч) с целью его охлаждения и влияния на температуру отработавших газов.

Проведены испытания, по результатам которых можно заключить, что снижение температуры ОГ, за счет применения испарительного охлаждения наддувочного воздуха ($\bar{W} = \frac{G_w}{G_в} \cdot 100, \%$), существенно уменьшает тепловой выброс в атмосферу при эксплуатации судового дизеля.

Вода для внутреннего охлаждения (испарения) подавалась во всасывающий патрубок компрессора под давлением через распылитель. Расход воды регулировался давлением распыла и замерялся ротаметрами. В целях исключения гидравлического удара, воздушный ресивер периодически продувался.

Дизелестроительные компании, такие как «МАН Бурмейстер и Вайн», Wartsila и др. предлагают ряд технологий по снижению концентрации вредных выбросов [9, 10]. В качестве примера приведем основные из них:

Аккумуляторная система впрыскивания топлива (рис. 1) [10] характеризуется хорошей способностью к оптимизации регулировки давления впрыска топлива на различных нагрузках, что позволяет достичь желаемого баланса между экономией топлива и вредными выбросами окислов азота NO_x с ОГ. Циркуляционный топливный насос (1), через

электромагнитный игольчатый клапан (2) и всасывающий клапан (3), подает топливо к топливному насосу высокого давления (ТНВД) (4), который создает давление в аккумуляторе (6). Каждый ТНВД (4), подсоединен к аккумулятору (6). Топливо от аккумулятора ТНВД подается в последовательно соединенные аккумуляторы (7), которые оборудованы аккумуляторными крышками. По трубкам высокого давления, через электромагнитный клапан (10) топливо поступает к форсунке. Количество подаваемого топлива рассчитывается электронно-вычислительной системой, базируясь на данных от датчика давления и рабочего режима двигателя. При помощи сигнала на электромагнитный клапан (2) отмеряется количество топлива подаваемого к ТНВД.

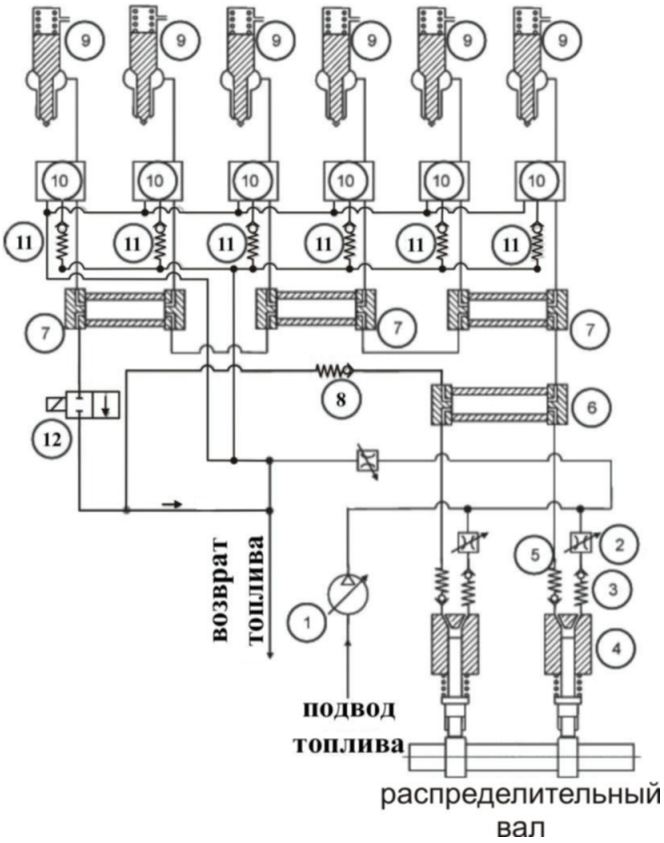


Рис. 1. Принципиальная схема аккумуляторной системы впрыскивания топлива: 1 – топливный насос низкого давления; 2 – электромагнитный игольчатый клапан; 3 – всасывающий клапан ТНВД; 4 – ТНВД; 5 – нагнетательный клапан; 6 – аккумулятор ТНВД; 7 – аккумулятор; 8 – предохранительный клапан; 9 – форсунка; 10 – электромагнитный клапан; 12 – пневматический клапан для прокачки системы

Каждая аккумуляторная крышка состоит из компонентов и соединений, которые служат для подвода и передачи топлива, а также регулирования впрыска. От аккумуляторов (7), электромагнитный клапан (10) и затем к форсунке топливо проходит через ограничитель потока. Также разработчик предлагает специальный распылитель для форсунки, который способствует снижению содержания NO_x.

Хорошее качество сгорания, а следовательно, и снижение концентрации вредных выбросов достигается путем обеспечения оптимального давления впрыска на всех режимах работы СДВС.

Система прямого впрыскивания воды [9] при котором вода подается в цилиндр отдельно от топлива. Прямой впрыск воды в камеру сгорания позволяет снизить температуру цикла и таким образом снижает образование NO_x. В отличие от других способов подачи воды в рабочее тело, при прямом впрыскивании регулируется время и место впрыска, что позволяет добиться большего снижения NO_x и получить результат около 8 г/кВт-ч (рис. 2).

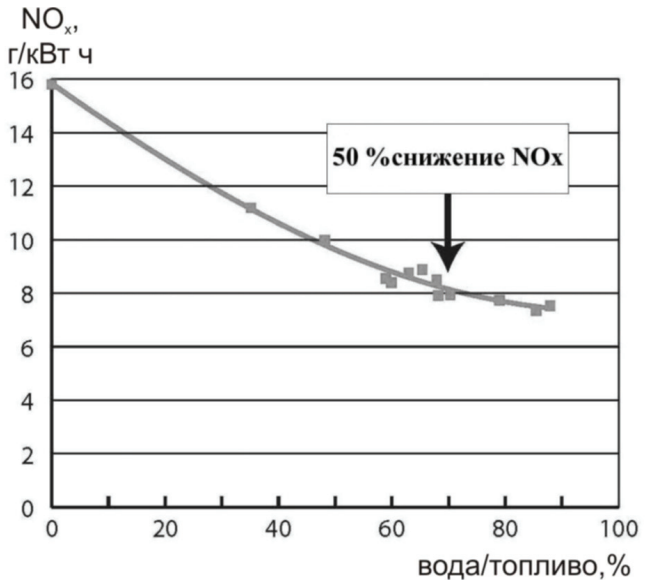


Рис. 2. Влияние добавления воды на образование вредных окислов

В данной системе, вода управляется независимой электронной системой впрыска. Это позволяет расширить регулировочные диапазоны и добиться необходимого баланса топлива и воды, а также, при необходимости, позволяет работать двигателю без впрыска воды.

Система рециркуляции выхлопных газов, [9] снижает количество кислорода в продувочном воздухе. Представляет комбинацию из двух решений: прямой впрыск воды и повторное использование отработавших газов. Для 4-тактных двигателей рециркуляция отработавших газов осуществляется через внешний газопровод, а для 2-тактных предлагается небольшая модернизация продувочных окон: уменьшение высоты продувочного окна, что приведет к снижению количества кислорода в продувочном воздухе. По данным исследований метод рециркуляции отработавших газов обеспечивает снижение вредных выбросов NO_x на 70%.

Однако использование рециркуляции отработавших газов влечет за собой увеличение температурной нагрузки в двигателе.

Система насыщения продувочного воздуха [9] основана на обогащении продувочного заряда водяными парами. Подача воды, под давлением, осуществляется после компрессора. Попав в среду с температурой, которая превышает температуру кипения, вода испаряется и насыщенный заряд поступает в цилиндр. Благодаря испарению происходит снижение температуры цикла, что влечет за собой снижение эмиссии NO_x.

Испытания показали, что снижение окислов азота на 50% достигается при расходе воды, достигающем двойного объема расхода топлива.

Использование катализаторов [9] является наиболее эффективным для снижения уровня окислов азота, который уменьшается до 2 г/кВт·ч. Нейтрализация NO_x производится путем добавления химического реагента в выпускные газы при температуре 290-450 ^oC. Катализирующий агент, вступая в реакцию с отработавшими газами, выделяет аммиак и в результате каталитического процесса происходит реакция с образованием азота и воды.

добавление реагента

$$(NH_2)_2CO + H_2O + \text{тепло} \rightarrow 2NH_3 + CO_2$$

катализатор

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$$

$$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

Установка каталитического нейтрализатора состоит из реактора, который содержит несколько каталитических слоев, дозировочного и танка хранения реагента, системы управления и контроля.

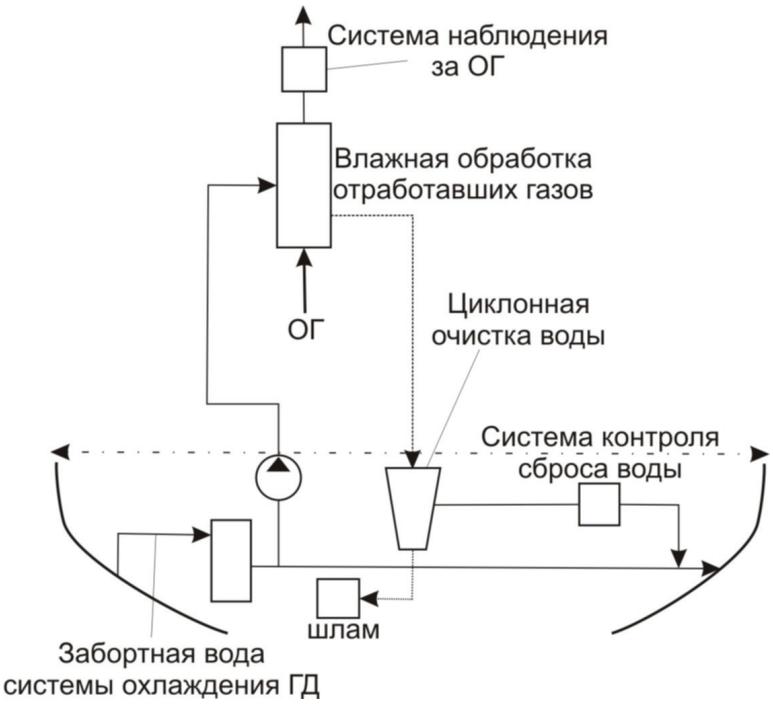


Рис. 3. Система нейтрализации SO_x

Система влажной очистки отработавших газов забортной водой [11] предложена компанией Krystallon (рис. 3.). Испытания показали, что использование данного метода позволяет очистить ОГ двигателя от SO_x на 98%, на 80% от твердых частиц, а также от некоторого количества NO_x. Система состоит из трех различных компонентов: установки влажной очистки газов, системы *наблюдения* за ОГ и *контроля* сброса

воды за борт. При влажной обработке отработавших газов, окислы серы SO_x преобразовываются в кислоты. Далее, проходя систему очистки, из воды удаляются вредные компоненты, которые сбрасываются в специальный танк, а вода откатывается за борт.

Для очистки ОГ от NO_x до требуемого уровня система должна быть дополнена катализирующими устройствами.

Все вышеперечисленные методы полностью не решают проблему вредных выбросов при сгорании органического топлива в СДВС. Поэтому каждый из них имеет свои преимущества и недостатки:

- Система нейтрализации вредных выбросов с использованием катализатора, дорогостояща и крупногабаритна, что затрудняет ее размещение в машинном отделении (МО). Особенно это относится к судам дедвейтом 2000…5000 тонн, для которых стоимость указанных систем соизмерима со стоимостью главных дизелей, а размещение их в МО – проблематично;
- рециркуляция части отработавших газов, хотя и обеспечивает достаточно низкую концентрацию NO_x, но очистка ОГ до смешивания с продувочным воздухом сложна. Остаточные продукты процесса очистки, такие как кислоты, нагар, масло образуют трудноудаляемый шлам. Для дизелей, работающих на высокосернистых топливах, этот метод неприемлем из-за значительного содержания серы в газах, перепускаемых в цилиндр;
- системы прямого впрыска воды требуют дорогостоящей модификации и добавления внешних систем;
- система очистки SO_x и твердых частиц не позволяет снизить NO_x до нормированного уровня, что дополнительно влечет использование устройств с катализаторами; требует применения специальных устойчивых к кислотам материалов (никелевая сталь), что значительно увеличивает ее стоимость;
- применение различных присадок для снижения образования вредных веществ, не дали достаточных результатов для выполнения требований конвенции.

В настоящее время одной из существующих проблем для судовладельцев, имеющих возрастной флот или производящих реновации судов, является выполнение требований конвенции МАРПОЛ 73/78. Поэтому требуется недорогостоящая система снижения эмиссии вредных выбросов при работе СДВС, которая может обеспечить требования конвенции и быть оперативно смонтирована. И, если для снижения уровня SO_x в ОГ дизелей достаточно использования метода влажной очистки отработавших газов и улучшения качества топлива (содержание серы не более 1.5 %), то для уменьшения эмиссии NO_x нет определенного реше-

ния. Это требует дополнительных теоретических исследований и практических разработок.

Что касается условий образования окислов азота то, наибольшее признание исследователей получила термическая теория, разработанная Зельдовичем Я.Р. [12], основные положения которой можно сформулировать так:

1) окисление азота происходит за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания.
2) выход окиси азота не зависит от химической природы, топлива, определяется концентрацией азота и кислорода, а также температурой в зоне горения.
3) окисление азота происходит по цепному механизму:

$$N_2 + O \rightarrow NO + N - 316 \text{ кДж};$$

далее

$$N + O_2 \rightarrow NO + O + 134 \text{ кДж},$$

то есть, начало цепной реакции зависит от концентрации кислорода и избытка тепла в зоне окисления.

4) неравномерное распределение температуры в зоне горения топлива сдерживает окисление азота одновременно по всему объему.
5) выход окислов азота зависит от скорости охлаждения продуктов сгорания.

Отсюда следует, что существенное влияние на формирование окислов азота оказывает температура сжигания органического топлива.

Анализируя существующие методы [8], [9] снижение температуры рабочего тела, используемого для сжигания органического топлива, мы пришли к выводу, что в первом случае [8] при подаче воды в наддувочный воздух имеет место ***неконтролируемая форма и размер капель воды***, поступающих со свежим зарядом в цилиндр дизеля. Во втором [9] вода испаряется до поступления в цилиндр и предварительно проходя через воздушный холодильник частично конденсируется, таким образом в цилиндр поступает пароводяная смесь, также с **неконтролируемым размером капель**, что снижает холодильный эффект при их испарении.

Известно [13], что размер капель существенно влияет на скорость их испарения, и соответственно на динамику холодильного эффекта. Так, например, капля воды размером 1мм, испаряется в неподвижном воздухе при температуре 20 ^{o}C за время около 10 минут. А капля размером 0,01мм за 0,05 секунды. Скорость испарения для капель такого размера имеет следующую зависимость:

$$\omega = \frac{Q}{4\pi a^2} = c_o \nu m,$$

где Q — количество испаряющейся жидкости с поверхности капли за единицу времени; a — радиус капли; $c_0\nu$ — число молекул, вылетающих с 1 см^2 поверхности при концентрации пара c_0; m — масса молекулы пара.

Теоретические выводы о влиянии размера капли на скорость ее испарения позволяют выдвинуть *основную гипотезу* о том, что эмиссию NO_x при работе СДВС можно уменьшить посредством использования мелкодисперсной фазы водного аэрозоля, подаваемого непосредственно в рабочее тело на такте всасывания в цилиндр дизеля, что обеспечит достаточный холодильный эффект при снижении расхода воды по сравнению с существующими методами.

Учитывая вышесказанное, актуальность исследований по снижению эмиссии окислов азота при работе СДВС не вызывает сомнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический кодекс по выбросам окислов азота от судовых дизельных двигателей: Международная Конвенция MARPOL 73/78, книга III. – С.Петербург, 1998. – С. 82-281.
2. Голиков А.А., Чураков А.И. Повышение эффективности использования потенциала рабочих тел судовых энергетических установок // Мат. междунар. науч. и науч.-метод. конф. «Современные проблемы судовой энергетики – 2006». – Одесса: ОНМА, 2006. – С. 33-35.
3. Колегаев М.А., Черныш И.И. Снижение выбросов с отработавшими газами дизелей // Судовые энергетические установки: науч.- техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2000. – Вып. 5. – С. 45.
4. Калюжный В.О. Ханмамедов С.А. Предотвращение вредных выбросов с выпускными газами современных малооборотных судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2004. – Вып. 10. – С. 34.
5. Аболешкин С.Е., Калюжный В.О. Экологические аспекты эксплуатации судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып.12. – С. 122.
6. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей. – Одесса: ЛАТСТАР, 2000. – С. 148 – 171.
7. Колпакчи Э.М., Коханский А.И. Использование двухконтурного охладителя воздуха наддува для уменьшения теплонапряженности дизелей в условиях мелководья // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сборник. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып. 14. – С. 11.
8. Капустин В.В., Клименко А.Г., Присяжнюк А.Б. Работа судового дизеля по нагрузочной характеристике при испарительном охла-

ждении наддувочного воздуха // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2002. – Вып. 7. – С. 41.
9. The EnviroEngine Concept // Wartsila Diesel Group, Technology review 2004.
10. New HFO Common Rail System // MAN B&W Two Stroke Engines. – 2000.
11. MER, October 2006, pp. 32-35.
12. Зельдович Я.В., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 147 с.
13. Ирисов. А.С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы ее исследования. Москва 1955. – 304 с.

УДК 621.436+621.31:625.5.035

Будашко В.В.
ОНМА

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ПОТУЖНОСТІ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ЕЛЕКТРИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Критерій ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії розглянутий у [1] дозволяє зробити подальший розвиток оцінки передавання потужностей у пропульсивному комплексі з трифазним асинхронним електродвигуном з короткозамкненою обмоткою, розташованому на лінії валу мало обертового дизелю (МОД) – гвинта фіксованого кроку (ГФК).

Модель енергетичних процесів побудована у відповідності зі схемою розподілу потоків активної потужності (рис. 1) для механізмів головного приводу, енергетичних ланцюгів і перетворювачів інтегрується у модель енергетичних потоків дизель-електричного комплексу [2].

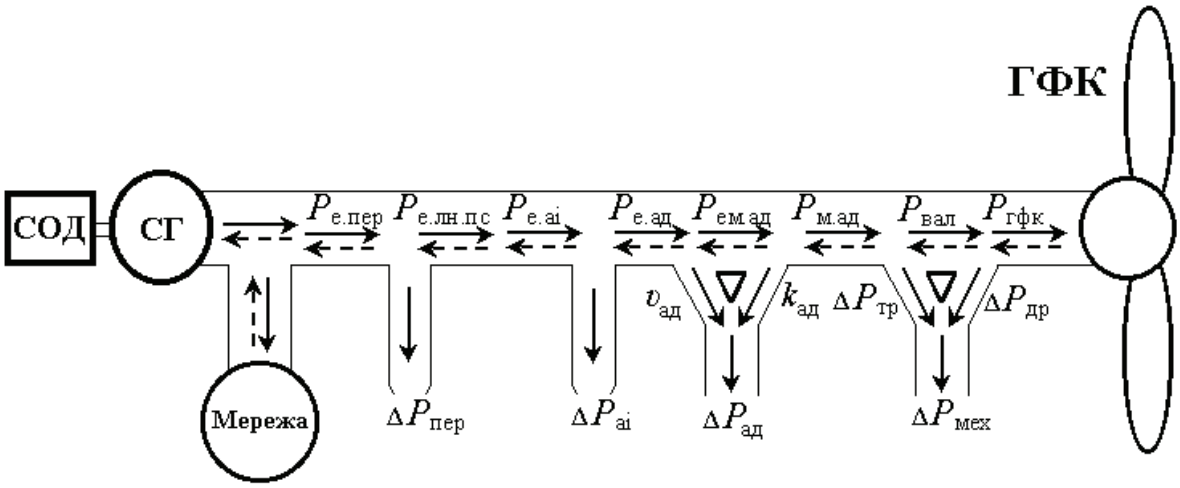


Рис. 1 Схема розподілу потоків активної потужності: СОД – середньо обертовий дизель; СГ – синхронний генератор; ГФК – гвинт фіксованого кроку; $P_{е.пер}$ – потужність електрична вентильного перетворювача, що складається з нерегульованого випрямляча (діодного) та інвертора (тиристорного); $P_{е.лн.пс}$ – електрична ланки постійного струму; $P_{е.аі}$ – електрична автономних інверторів; $P_{е.ад}$ – електрична АД; $P_{ем.ад}$ – електромагнітна АД; $P_{м.ад}$ – потужність механічна на валі АД; $P_{вал}$ – потужність механічна на валопроводі; $P_{гфк}$ – корисна, прикладена до ГФК; $\Delta P_{пер}$ – потужність втрат у перетворювачі; $\Delta P_{аі}$ – в автономному інверторі; $\Delta P_{ад}$ – у АД; $\Delta P_{мех}$ – у передавальних механізмах ($\Delta P_{тр} = P_B - P_S$ – у трансмісії, $\Delta P_{др}$ – у другорядних з'єднаннях)

Сумарні втрати розбиті на змінні v і умовно постійні k втрати, як це прийнято в теорії електроприводу. У моделі енергетичних процесів об-

лічено не тільки активні, але і повні потужності, що дозволяє досліджувати потоки реактивної потужності, розраховувати втрати, виходячи з повної потужності [3].

Оцінка зміни якості електромеханічної системи в цілому в залежності від характеристик електропривода при незмінних основних параметрах проводиться за критерієм ефективності перетворення енергії $H_{пр}$:

$$H_{пр} = \frac{\int_0^T \left|P_{вих}(t)\right| dt}{\int_0^T \left|P_{вих}(t)\right| dt + \sum_{j=1}^{n} \int_0^T \Delta P_j(t)\, dt}, \qquad (1)$$

де $|P_{вих}(t)|$ — модуль миттєвої потужності, переданої через перетин енергетичного каналу на його виході, тобто потужність, необхідна для обертання ГФК; ΔP_j — потужність втрат у j-му елементі силового каналу; n — число елементів силового каналу, у яких враховуються втрати.

Критерій дозволяє прийняти рішення при варіюванні будь-яких істотних параметрів об’єкта (системи автоматизованого електропривода, комплексу МОД – вал – ГФК тощо), що забезпечували б підвищення енергетичної економічності [4]. У цьому зв'язку, якщо адекватність математичних моделей забезпечена, критерій можна вважати об'єктивним і застосовувати його для оцінки підвищення ефективності передачі потужності у запропонованому пропульсивному комплексу із допоміжним трифазним частотно-керованим АД з короткозамкненою роторною.

Невирішеними проблемами залишаються: по перше — вищевказаний критерій не можна застосувати для оцінки споживаної електроенергії при підключенні вже обертового АД до енергетичної мережі, по скільки немає таких математичних моделей, які б підходили до цього процесу; по друге – де які параметри, що входять до формули (1) залежать не тільки від часу, а, наприклад, від сили і напрямку вітру, коливання осі валу, відхилень заданих і виміряних параметрів тощо; по третє – критерій повинен враховувати також неточність вимірювання самих значень миттєвих потужностей на виході кожного елементу моделі, при чому, способи вимірювання в кожному окремому випадку різні.

Метою статті є оцінка ефективності передачі потужності у судновому пропульсивному комплексі з МОД і трифазним частотно-керованим АД з коротко-замкненою обмоткою, формулювання критерію, або критеріїв такої оцінки. Рівняння (1) можна застосовувати для такої оцінки, за умовою врахування всіх вищевказаних обмежень, а також, що значення $P_{вал}$ і $P_{гфк}$ у деяких режимах роботи судна зале-

жать від потужності МОД і можуть приймати від'ємні значення відносно потужності АД.

При цьому критерій ефективності (1) задовольняє поставленій задачі, за винятком того, що під час дослідження ефективності передачі потужності від МОД до рушія при використанні допоміжного АД на лінії валу, необхідно буде доповнити критерій складовими, які б свідчили про економію пального, зменшення коливань потужності, а звідси і динамічних механічних навантажень на лінії валу до рушія.

При виконанні кількісної оцінки критерію ефективності при застосуванні допоміжного АД на лінії валу МОД суднового дизель-електричного пропульсивного комплексу (СДЕПК), враховувалося те, що МОД, працюючий при зниженні навантаження до 0,8 номінального значення має коефіцієнт ефективності, який лежить у межах 0,7 – 0,8 від номінального.

Потужність передана МОД безпосередньо до гвинта розраховували по формулі:

$$P_B = \eta_{TRM} \cdot 2\pi \cdot M_B \cdot n_e \,. \tag{2}$$

Таким же чином розраховуємо потужність АД, безпосередньо передану до гвинта:

$$P_{AD} = \eta_{TRM} \cdot 2\pi \cdot Q_{_AD} \cdot n \tag{3}$$

Потужність, необхідна для руху судна:

$$P_E = \eta_D \cdot \eta_{TRM} \cdot 2\pi \cdot n(M_B + Q_{_AD}) \,. \tag{4}$$

Отже, виходячи з (2) – (4), і враховуючи, що $P_E = R_u \cdot v_s$ [5], отримаємо вираз для розрахунку ефективності СДЕПК:

$$H_{\text{пр}} = \eta_{TRM} \cdot \eta_D = \frac{R_u \cdot v_s}{2\pi \cdot n(M_B + Q_{_AD})} \,. \tag{5}$$

Оцінка проводилася при різних умовах завантаження судна, частоті обертання валу, а також з урахуванням регулювання розвору лопатей.

Враховуючи рівняння (2) – (4), витрату палива оцінюємо, виходячи з залежності:

$$b_{\text{ц}} = c \cdot G/n = c_1 \cdot P_i \cdot g_i / Q_f \,,$$

де c, c_1 – постійні коефіцієнти; g_i – питома індикаторна витрата палива; Q_f – кількість теплоти згоряння палива; P_i – індикаторний тиск; n – частота обертання валу дизеля, та враховуючі (5):

$$G = \frac{c_1 \cdot c_2 \cdot g_i \cdot R_u \cdot v_s}{2\pi \cdot c \cdot Q_f \cdot H_{\text{пр}}} \,,$$

де g_i = 170 г/кВт·год – питома індикаторна витрата палива для МОД, що працюють на важкому паливі; Q_f = 40,5 кДж/кг – номінальна кількість теплоти згоряння палива для МОД з $H_{пр}$ = 0,52; c_2 – коефіцієнт пропорційності між середнім індикаторним тиском і моментом МОД.

На рис. 2 і 3 наведено графіки зміни ефективності СДНПК з використанням регулювання кроку гвинта і без, із застосуванням допоміжного АД на лінії вала і без нього.

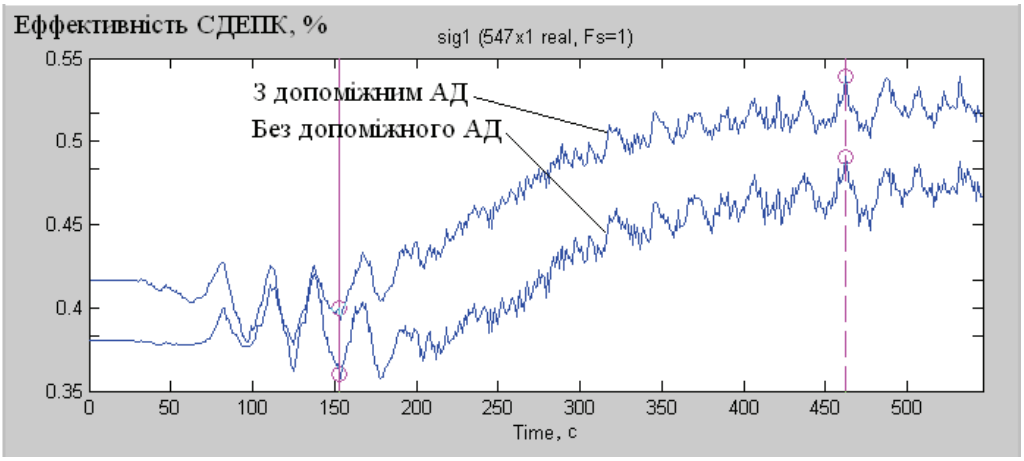


Рис. 2. Залежність ефективності СДЕПК продовж часу 500 с з регулюванням кроку гвинта

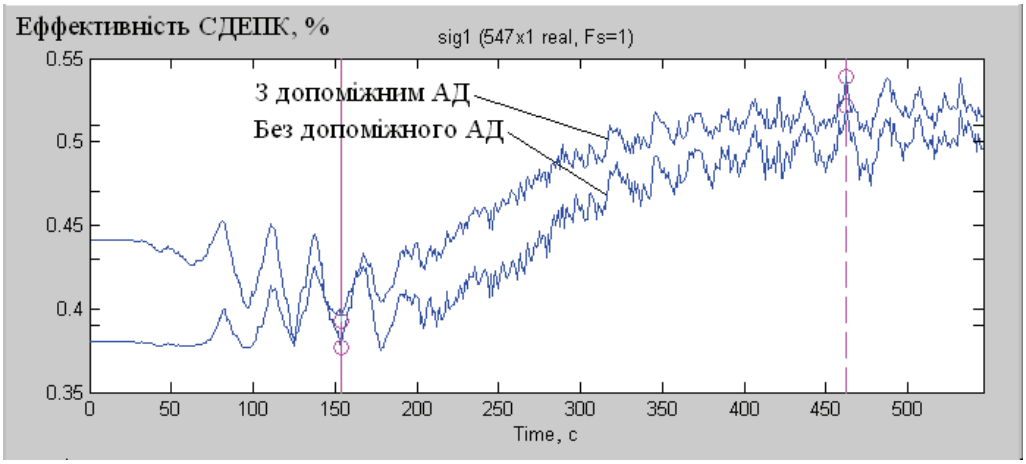


Рис. 3. Залежність ефективності СДЕПК продовж часу 500 с без регулювання кроку гвинта

Результати розрахунків зводимо у таблицю.

Кількісні показники ефективності СДЕПК

Параметри СДЕПК	$H_{пр}$			
Частота обертання, об/хв.	з ГРК		з ГФК	
	з АД	без АД	без АД	з АД
86	0,5422	0,4154	0,5287	0,4241
103	0,5077	0,3835	0,4996	0,3959
Економія палива, г/кВт·год.	5,87 ÷ 5,5		4,79 ÷ 4,9	

Робимо висновок, що застосування допоміжного АД на лінії валу МОД СДЕПК призвело до економії палива у всьому діапазоні регулювання частоти обертання валу.

Кількісна оцінка ефективності передачі потужності в СДЕПК показала економію палива у всьому діапазоні регулювання частоти обертання валу рушія у межах від 4,79 до 5,87 г/кВт·год.

При передачі енергії від СОДГ до АД у СДЕПК з МОД на лінії валу виникає синхронізуючий момент, що забезпечує стійкість об'єкту з саморегулюванням в межах ± 5% номінальної частоти обертання валу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ильинский Н.Ф., Горнов А.О. Критерий эффективности процесса электромеханического преобразования энергии // Электричество, 1997. – № 10. – С. 40-45.
2. Злакоманов В.В., Яковлев Б.С. Взаимодействие динамических систем с источниками энергии. – М.: Энергоиздат. – 1980. – 176 с.
3. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
4. Проблемы использования регулируемого электропривода в энергетике / Г.Б. Онищенко, В.М. Пономарев, Ю.Г. Шакарян и др. // Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 156-162.
5. Doerry N.H., Davis J.C. Integrated Power System for Marine Application // Naval Eng. J. – 1994. – P. 77-90.

УДК 681.518: 004.85

Войтецкий И.Е., Вишневская В.М.
ОНМА, ОНАС

АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗНАНИЙ МОРСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

В связи с повышением уровня развития всех отраслей науки, повышением требований к квалификации специалистов, распространением дистанционного обучения и внедрения компьютерных программ для обучения и тестирования в высшие учебные заведения также повышаются требования к алгоритмам оценки уровня знаний обучаемых.

В настоящее время разработано и реализовано множество компьютерных программ для тестирования и обучения. Для создания тестов, проведения и обработки результатов тестирования реализовано множество программных продуктов. К таким программным продуктам относятся “SunRav TestOfficePro” [2] и “Колоквіум” [3]. Результат сдачи теста определяется ими без использования системы нечеткого вывода и без учета результатов обучения. В реализованных компьютерных программах, предназначенных для обучения, материал для обучения (“Examiner”), заложен на этапе разработки самой программы или предусмотрена возможность создания обучающих тестов с подсказкой правильного ответа (обучающий режим в “Examiner”, обучающий режим в “Колоквіум”). Результат обучения определяется без использования системы нечеткого вывода и без учета особенностей обучаемого.

Разработанные и реализованные в обучающих и тестирующих компьютерных программах алгоритмы для оценки уровня знаний обучаемого закладываются на этапе разработки программы без возможности изменения после создания исполняемого файла программы. Реализованные алгоритмы не учитывают личных особенностей обучаемого, его начальную подготовку, особенностей процесса обучения и особенностей процесса принятия решения об уровне знаний обучаемого квалифицированным преподавателем. Следовательно, такие алгоритмы не обеспечивают требуемый уровень обучения и оценки уровня знаний.

На основании выше сказанного очевидна необходимость разработки и реализации алгоритма обучения и оценки уровня знаний.

В разработанном алгоритме применяется система нечеткого вывода, которая с помощью нечеткой логики, базы правил, механизма вывода позволяет приблизить процесс обучения и оценки уровня знаний при помощи компьютерной программы к этим же процессам, осуществляемым опытным преподавателем. Система нечеткого вывода и база правил могут редактироваться одним или группой преподавателей, что

обеспечивает реализацию индивидуальных методик обучения и оценки знаний или общепринятых и совместно разрабатываемых.

На рисунках 1 и 2 представлены схемы алгоритмов программы для обучения и оценки уровня знаний без привязки к языку программирования.

Алгоритм программы, представленный на рисунке 1 предназначен для создания, заполнения и редактирования файла курса, который содержит все учебные материалы, вопросы теста, настройки системы нечеткого вывода. После начала работы программы (символ 1) пользователь вводит данные курса – создает структуру курса, вводит пути к файлам с учебным материалом и материалом для теста, путь к файлу журнала, настройки системы нечеткого вывода, баллы для оценки вопросов. После ввода данные преобразуются в форму пригодную для обработки (символ 3) после чего происходит инициализация структур данных (символ 4) курса, тем, вопросов и вызываются процедуры проверки введенных данных (символ 5). Если данные введены правильно, то создается и заполняется структура файла проекта (символ 7) создается файл данных курса (символ 8), сохраняется на диск (символ 9) и завершается программа. Если данные введены не правильно, то пользователю выводится сообщение об ошибке ввода с описанием ошибки (символ 6) и программа переходит к повторному вводу данных. Данный алгоритм реализован в программе “Teaching module” пакета программ “Teaching expert”.

Алгоритм программы, представленный на рисунке 2 предназначен для проведения обучения и оценки уровня знаний по данным из файла курса. После начала работы программы (символ 1) пользователь вводит (символ 2) свои личные данные и выбирает обучение или проверку знаний. После ввода данные преобразуются в форму пригодную для обработки (символ 3) после чего происходит инициализация структур данных (символ 4), и вызываются процедуры проверки введенных данных. Если данные введены не правильно (символ 5), то пользователю выводится сообщение об ошибке ввода с описанием ошибки (символ 6) и программа переходит к повторному вводу данных. После правильного ввода данных производится создание внутренних структур данных программы и их начальная инициализация (символ 7) после чего происходит чтение файла курса с диска (символы 8,9), преобразование прочитанных данных (символ 10) и выполняется проверка на наличие тем (символ 11). При отсутствии тем производится проверка – является ли выбранный режим обучением или тестом (символ 21). Если обучением, то происходит обработка данных для сохранения (символ 22), выводится сообщение об окончании обучения (символ 23), создается и заполня-

ется структура файла с информацией о пользователе, создается файл (символ 24), сохраняется на диск (символ 25) и программа завершается (символ 25). При наличии тем выводится материал по теме (символ 12), выполняется проверка на наличие вопросов (символ 13). Если вопросы есть, производится вывод формулировки вопроса (символ 14), проверяется, есть ли попытка ответа (символ 15) и если она есть, то пользователю предлагается ввести вариант ответа (символ 16), после чего сохраняется результат ответа, определяется его правильность (символ 17) и если программа работает в режиме обучения (символ 18), выводится правильный ответ, в противном случае осуществляется переход к следующему вопросу. После того как вопросы по теме закончились, происходит переход к новой теме. После того как закончились темы, происходит переход на символ 21.

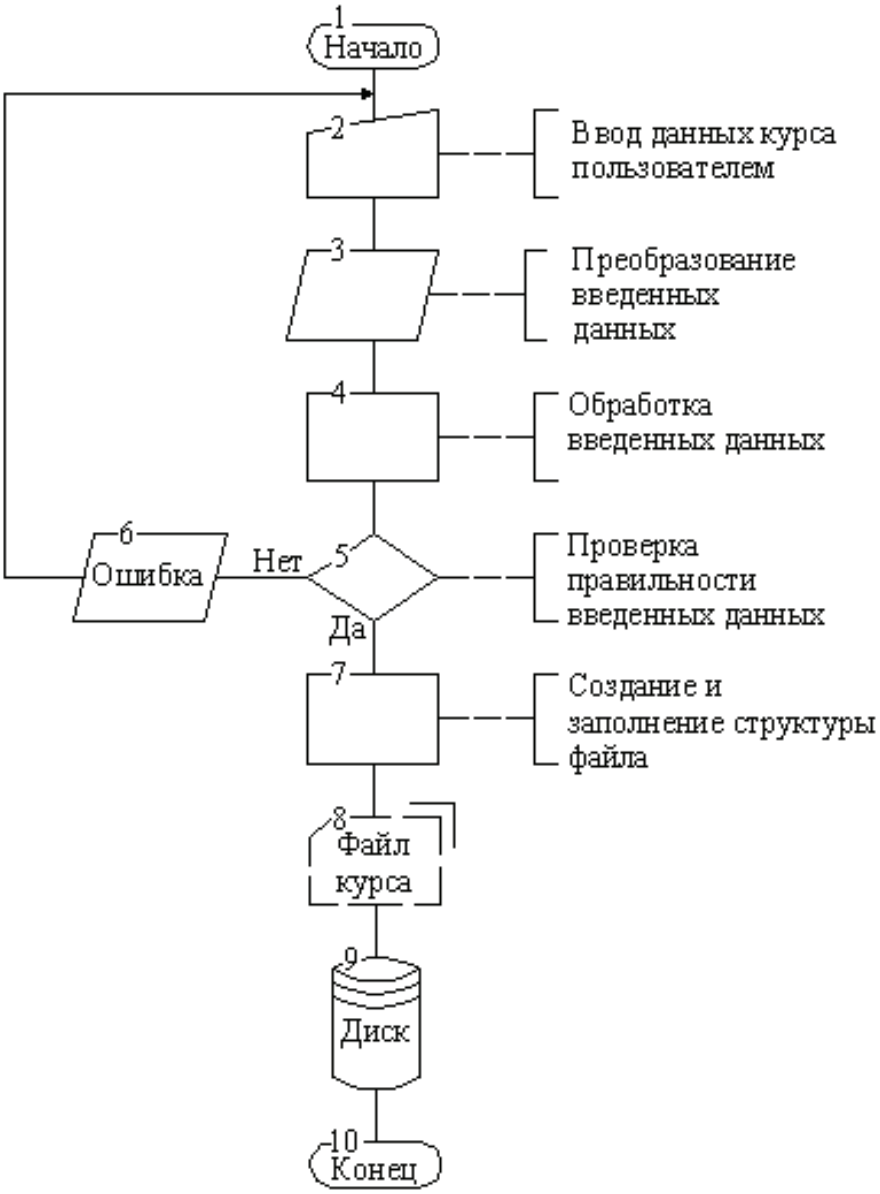


Рис. 1. Схема алгоритма программы для создания файла курса

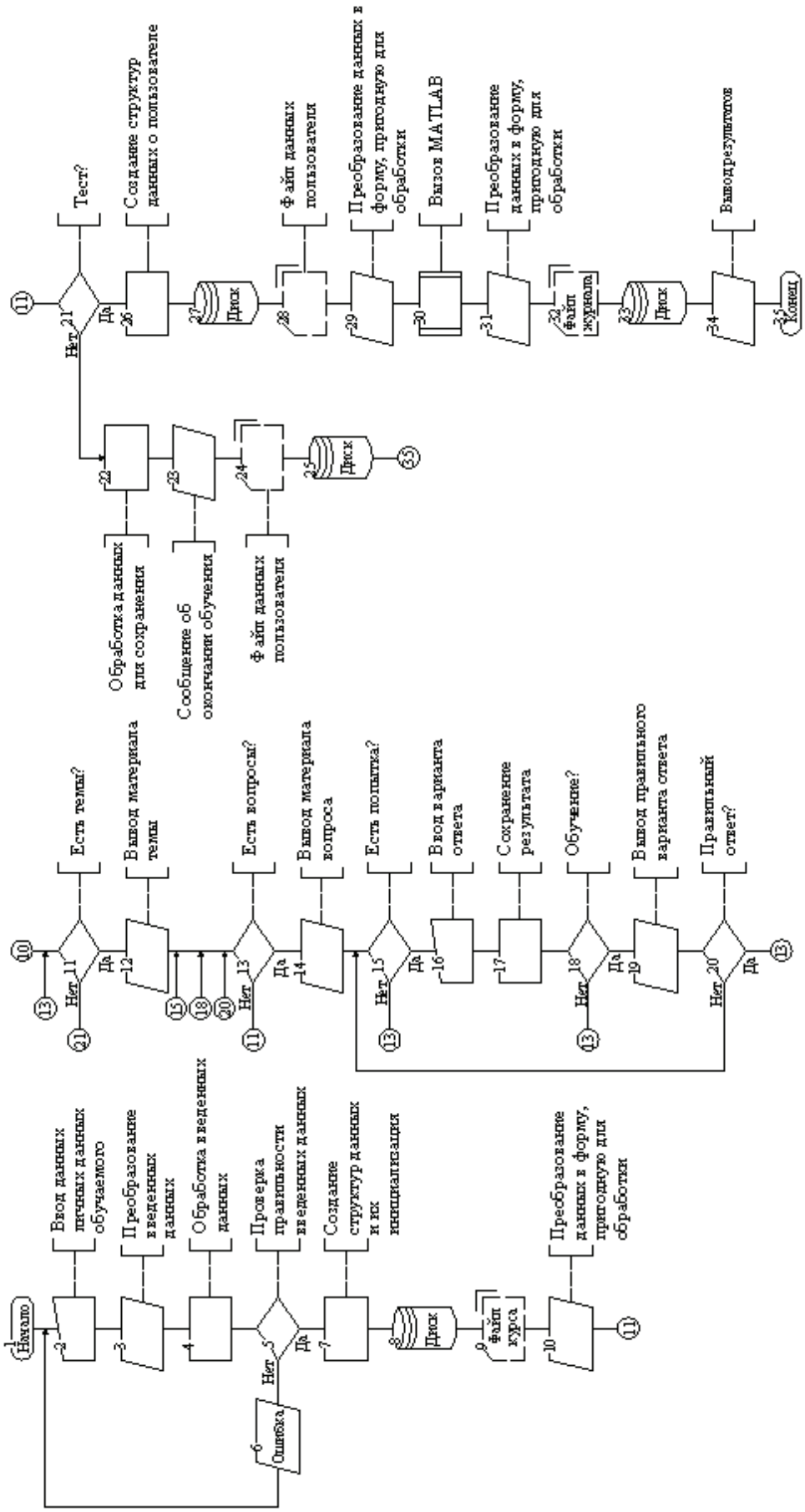


Рис. 2. Схема алгоритма программы для обучения и оценки уровня знаний

Если программа работает в режиме оценки знаний, то после ответов на вопросы по темам происходит подготовка к чтению файла с информацией о результатах обучения пользователя (символ 26), производится чтение с диска (символ 27) файла данных пользователя (символ 28), производится преобразование данных в форму, пригодную для обращения к MATLAB (символ 29), осуществляется вызов MATLAB (символ 30), производится обратное преобразование (символ 31) и результаты сохраняются в файл (символ 32) на диске (символ 33). Перед окончанием работы (символ 35) пользователю выводится сообщение об окончании обучения или тестирования (символ 34). Система нечеткого вывода реализована в MATLAB. Данный алгоритм реализован в программе “Student module” пакета программ “Teaching expert”.

Более подробные сведения об организации системы нечеткого вывода можно узнать из статьи [1].

Таким образом, реализованные алгоритмы учитывают личных особенностей обучаемого, его начальную подготовку, особенности процесса обучения и особенности процесса принятия решения об уровне знаний обучаемого квалифицированным преподавателем.

Компьютерная программа “Teaching expert” внедрена в учебный процесс в ОНАС и ОНМА.

В дальнейшем планируется использование в программе нейронных сетей и реализация связи и взаимодействия программы с тренажерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишневская В.М. Применение методов нечеткого моделирования к процессу обучения // Холодильна техніка і технологія. –2006. – № 3 (101). – С. 78-81
2. Материалы сайта http://www.sunrav.ru
3. Материалы сайта http://www.politek-soft.kiev.ua

УДК 621.182

Дулдиер А.П.
ОНМА

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТОПКАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ИХ ОЦЕНКЕ ПО ЦВЕТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАМЕНИ

Расширение возможностей феноменологического описания процесса горения, основанное на решении задачи термодинамического расчета кривой выгорания топлива $\varphi(\tau)$, позволяет получить его характеристики, как результат сложного параллельно-последовательного процесса преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию рабочего тела, происходящего в топке устройстве котла при движении топлива в газовоздушном потоке.

Рабочий процесс в топке представляет собой совокупность процессов, основными из которых являются испарение топлива и его турбулентное смешение с воздухом с последующим практически мгновенным превращением топлива в продукты сгорания — генерируемую газовую среду.

Конечность скорости этих процессов при ограниченном времени пребывания топлива в зоне горения приводит к незавершенности преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания и тепловым потерям в виде химического недожёга.

Процессы испарения топлива и его турбулентного смешения с воздухом во времени происходят частично последовательно, частично параллельно. Локализация этих преобразований не однозначна и горение топлива может быть рассмотрено как распределенный по траектории движения потока процесс, для завершения которого с заданной полнотой необходимо известное время τ_{St}. Очевидно, что время с момента подачи топлива в зону горения и до момента, когда на оси пламени достигается стехиометрическое соотношение топлива и воздуха, т.е. действительное время пребывания в зоне $\tau_{пр}$, должно быть не меньше, чем время τ_{St}.

Текущее время определяется по скорости потока, зависящей при заданных начальных условиях от структуры течения, определяемой геометрическими параметрами ВНУ. При многообразии форм, продиктованном множеством конструктивных, технологических и эксплуатационных требований, по структуре течения топочные устройства условно делят на две группы:

- топочные устройства с однонаправленным одномерным потоком;
- топочные устройства с возвратно-циркуляционным течением, где течение вращательно-поступательное с возвратным вихрем.

Характерные почти одномерные течения в топочных устройствах позволяют, переходя к обобщенной схеме [1], оценить время пребывания топлива в топке $\tau_{пр}$ интегрированием по траектории от входного x=0 до выходного $x=l_{St}$ сечения

$$\tau_{пр} = \int_0^{l_{St}} \frac{dx}{u(x)}, \tag{1}$$

где $u(x)$ — осредненная по оси в одномерном приближении скорость потока, зависящая от координаты x, а дробь $\frac{dx}{u(x)}$ — время прохождения расстояния dx со скоростью $u(x)$, l_{St} — длина пламени.

Уравнение неразрывности для сечения потока $\dot{m}(x) = \rho(x)u(x)F(x)$. Расход продуктов сгорания $\dot{m}(x)$ пропорционален расходу топлива $\dot{m}(x) = \dot{m}_m(1+\alpha_0 St) = const$ и тогда скорость в произвольном сечении топки

$$u(x) = \frac{\dot{m}_m(1+\alpha_0 St)}{\rho(x)F(x)},$$

подстановка которой в (1) дает соотношение

$$\tau_{пр} = \frac{1}{\dot{m}_m(1+\alpha_0 St)} \int_0^{l_{St}} \rho(x)F(x)\,dx = \frac{G_{зг}}{\dot{m}_m(1+\alpha_0 St)}, \tag{2}$$

где $F(x)dx$ есть элементарный объем, произведение $\rho(x)F(x)dx$, есть элементарная масса dm, а интеграл от $\rho(x)F(x)dx$ по объему равен массе продуктов сгорания и топлива $G_{зг}$, находящейся в топочном объеме.

Значение $\tau_{пр}$ в топочном объеме $V_{зг}$ определяется по отношению массы продуктов, находящихся в зоне горения, к массовому расходу топлива. Из термодинамического расчета продуктов сгорания определяется температура $T_к$. Необходимо определить зависимость среднего времени пребывания $\tau_{пр}$ от расхода топлива и его соотношения с расходом воздуха.

Из уравнения состояния газа следует соотношение

$$G_{зг} = \frac{pV_{зг}}{RT_к}. \tag{3}$$

Подставив выражение (3) в соотношение (2), получим

$$\tau_{пр} = \frac{pV_{зг}}{\dot{m}_m(1+\alpha_0 St)RT_к}, \tag{4}$$

где p — давление в топке.

Результаты расчета термодинамических параметров практически не зависят от давления и характеризуются соотношением компонентов.

Поскольку в реальных топках скорость продуктов сгорания в выходном сечении неравномерна и не равна нулю, при расчете времени пребывания $\tau_{пр}$ её необходимо рассчитывать по величине скорости на оси пламени.

Достаточные условия для приемлемого определения полноты сгорания топлива может вестись по минимально необходимому значению среднего времени пребывания. При этом время пребывания уменьшается:

- с ростом расхода топлива;
- с повышением температуры подогрева топлива (снижается вязкость, улучшается распыливание, интенсифицируется процесс перемешивания и повышается скорость химических реакций);
- при подаче топлива в зону диффузионного горения после его предварительного испарения в зоне рециркуляции.

В рамках модели можно утверждать, что если $\tau_{St} < \tau_{пр}$, то процесс преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания завершается с достаточной полнотой, учитывающей тепловые потери от незавершенности химического преобразования энергии, и тогда коэффициент полноты сгорания составляет величину, близкую к единице.

Рассчитать эти потери по данным измерений только параметров продуктов сгорания практически невозможно, т.к. одновременно проявляются потери другой физической природы, связанные с неадибатностью процесса горения.

Процесс горения сопровождается аккумуляцией тепла в ядре пламени и частичной передачей тепла излучением экранному тракту пароводяной смеси. Конвективный отвод теплоты приводит к снижению температуры только вблизи стенок топки, где формируется пристеночный слой, отличающийся от ядра потока — центральной основной части потока температурой, скоростью и химическим составом. При этом пристеночный слой практически не влияет на рабочие процессы в ядре потока.

Приближенный учет потерь тепловой энергии излучением возможен по известному спектральному распределению плотности теплового потока q_s [2], дополнительно определяющему цветовые характеристики пламени [3, 4].

Так как соотношение компонентов в ядре пламени не соответствует стехиометрическому, параметры рабочего процесса значительно откло-

няются от адиабатических. В идеальном же приближении они принимаются как адиабатические, по отношению к которым рассчитываются параметры реальных рабочих процессов.

Предполагая отсутствие тепломассообмена между ядром и пристеночным слоем, можно определить параметры потока в ядре пламени.

Поскольку рассматривается неравномерное распределение продуктов сгорания по сечению как единственное отклонение от идеальной модели, то в качестве параметра сравнения можно выбрать характеристическую скорость горения.

При вышеприведенных допущениях можно сделать следующие выводы.

1. Даже с учетом очевидных упрощений коэффициент полноты сгорания топлива η может определяться по временным характеристикам процесса и значительно отличаться от единицы.
2. О завершенности рабочего процесса в ядре пламени судят по временным параметрам, которые определяют термодинамические параметры потока и в этом смысле оцениваются условия его работы.
3. Результаты расчета процессов дают исходные данные для оценки цветовых параметров горения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Натанзон М. С. Неустойчивость горения. – М.: Машиностроение, 1986. - 248 с.
2. Блох А. Г. Теплообмен в топках паровых котлов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1984. – 240 с.
3. Дулдиер А. П. Алгоритм обработки сигнала цвета пламени // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2000. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА. – С. 33-35.
4. Дулдиер А. П. Цветовые характеристики пламени как показатель качества сжигания топлива // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С. 31-36.

УДК 621.43: 621.928.3

Радченко О.П.
КГМТУ

О ПРИМЕНЕНИИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА В СЭУ

Современные исследования в области нагрева нефтепродуктов СВЧ-излучением показали эффективность такого воздействия с практической точки зрения. Предложенные установки по прогреву мазута в стационарных и железнодорожных цистернах обеспечивают нагрев нефтепродукта с энергетическими затратами в 5-8 раз меньшими, чем в случае с традиционным паровым нагревом.

Энергия СВЧ является очень удобным источником тепловой энергии, и обладает рядом преимуществ: отсутствие промежуточного теплоносителя; тепловая безынерционность, и, следовательно, высокая точность управления процессом тепловой обработки материала; сравнительно низкие тепловые потери в подводящих трактах. [1]

Эксплуатационные характеристики судовых топлив в судовых энергетических установках традиционно обеспечиваются сепарацией (пурификацией, кларификацией), фильтрацией и подогревом, иногда, также, гомогенизацией и стабилизацией. Все чаще внедряются в технологический процесс топливоподготовки такие процессы как, диспергирование и активация. Цели перечисленных составляющих топливоподготовки на первый взгляд различны, однако все они направлены на доведение топлива до жидкости приемлемой однородности и обеспечения качественного распыла.

Химический состав судовых топлив, как нефтепродуктов, обуславливает высокую степень межмолекулярного взаимодействия. Это во многом определяет проблематику топливоподготовки. Включения глобул воды, механических примесей, образование сгустков тяжелых фракций дают широкую почву для образования очагов кристаллизации различных составляющих топлив. Отсюда проблемы однородности жидкости и качества распыла. [2]

Судовое топливо, как дисперсная система, включает дисперсную фазу (тяжелые фракции нефти, например асфальтены), обладающую свойствами тиксотропной жидкости, что играет отрицательную роль в процессах фильтрации и сепарации топлив, а также ухудшает эффективность горения, однако, такие свойства с применением активации топлива могут быть положительно использованы в работе пар трения топливной аппаратуры. [3] Своевременное разрушение межмолекулярных связей приводит не только к разрушению дисперсной фазы, но и к увеличению свободных от контакта поляризованных молекул, а, следо-

вательно, к процессу активного возобновления тиксотропных молекулярных структур.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что воздействие СВЧ может являться не только методом нагрева топлива в СЭУ, но и комплексным методом воздействия на топливо, оптимизирующим ряд эксплуатационных характеристик топлива, то есть методом комплексной топливоподготовки.

В данной работе на примере энергетической установки крупнотоннажного танкера проекта № 12990 (Судостроительный завод «Залив», г. Керчь) предлагается рассмотреть возможность и пути реализации такого метода топливоподготовки. Для внедрения СВЧ-воздействия на топливо в рамках работы принципиально планируется использовать два пути, реализуемых в двух этапах обработки.

Первый этап состоит в разогреве топлива (до 50-75 °С) СВЧ-установкой (на основе магнетрона М93М) в расходной цистерне, что позволит нам произвести не только разогрев мазута, но и обеспечить стабилизацию топливной смеси, предотвратив тем самым выпадение осадка, состоящего из тяжелых фракций нефти и воды [4]. Для этой технологии рассчитана установка на основе магнетрона М93М с характеристиками: частота – 915 МГц; потребляемая мощность – 30 кВт; выходная мощность – 25 кВт; анодное напряжение – 9,5 кВ; КПД – 75%; наработка на отказ – 3000 ч; водяное охлаждение (расход 15 л/мин). При СВЧ-воздействии в диапазоне 400–3000 МГц длина волны во много раз меньше линейных размеров дисперсных частиц, что позволяет направлять излучение в массу продукта и разогревать ее изнутри. При этом излучатель, установленный в горловине цистерны, не соприкасается с продуктом. Низкая теплопроводность продукта не только не препятствует разогреву, а, напротив, способствует ему. Излучаемые колебания многократно проходят через продукт, а металлический корпус цистерны отражает эти колебания и направляет их на разогреваемый объект.

Второй этап. Разогретое топливо будет подаваться на вторую установку, где будет произведено комплексное СВЧ и ультразвуковое воздействие с целью дополнительного нагрева (до 110-120 °С) и достижения достаточной однородности топливной среды, что не может обеспечить первый этап. Этот этап осуществляется непосредственно перед подачей топлива к ДВС. В рамках данной работы проектируется установка проточного типа включающая в себя СВЧ-модуль мощностью 8 кВт, акустический излучатель с интенсивностью колебаний 0,1-3 Вт/см^2 и управляющий блок, предусматривающий автоматическое управление интенсивностью воздействия в зависимости от вязкости топливной среды на выходе из установки.

Сравнительный анализ эффективности энергетических затрат на разогрев суточной нормы расхода танкера проекта № 12990 паром и предложенным вариантом СВЧ-обработки показал соотношение в 3,2 раза в пользу предложенного варианта. Предварительные исследования эксплуатационных свойств топлива показали, что после СВЧ-обработки стабильность гомогенного состояния топлива на порядок выше топлива прошедшего традиционную подготовку, а именно интенсивность выпадения осадка в топливе, подготовленном двумя сравниваемыми методами, различалась более чем в десять раз.

Как итог описанного этапа работы, можно определить следующее. Энергетические затраты на разогрев топлива (в частности мазута) можно снизить путем применения СВЧ-воздействия проточным либо объемным методом. Использование молекулярного воздействия СВЧ-излучения на некоторые составляющие топливной смеси можно использовать для повышения эксплуатационных свойств топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев Э., Морозов О., Степанов С., Цыбко В. СВЧ-разогрев загустевших нефтепродуктов в железнодорожных цистернах // Электроника для ТЭК. Электроника НТБ. – 1999. – Вып. 6. – М.: РИЦ “ТЕХНОСФЕРА”.
2. Франсюк И.И. Анализ судовых систем подготовки тяжелого топлива // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.– 1999. – №4. – Одесса: ОГМА. – С. 145-148.
3. Алтоиз Б.А., Пыжов Е.В., Народницкая Г.В., Ханмамедов С.А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2003. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С 112-118.
4. Овчинников П.Ф. Разрушение связей структуры при вибрационном воздействии на среды / Закономерности процессов образования и разрушения дисперсных материалов. – Минск: Изд. АН БССР, 1972. – Т. 4. – С. 188-196.

УДК 621.438

Миюсов М.В., Денисов В.Г.
ОНМА

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В последние годы повышается интерес к использованию газотурбинных двигателей (ГТД) при проектировании современных судовых энергетических установок (СЭУ)

Сегодня ГТД нашли широкое применение во многих видах транспорта (например, на пассажирских суднах «QUEEN MARY 2», «PRINCESS CRUISES» и на многих других установлены газовые турбины типа LM 2500 [1]) и промышленного производства. Стоимость их технического обслуживания является важным экономическим показателем эффективности работы. Решение проблемы повышения безопасности и снижения стоимости технической эксплуатации возможно на основе внедрения технической диагностики как совокупности средств и методов непрерывного контроля состояния подвижных сопряжений. Анализ опыта технической эксплуатации газотурбинных двигателей показал, что повреждения подшипников опор ротора приводят к выходу из строя всей энергетической установки, а это ведет к значительным экономическим потерям, которые можно соотнести с годовым доходом от эксплуатации этих судов. Аналогичные данные получены по ГТД на газоперекачивающих станциях [2].

Из числа причин, приводящих к выводу ГТД из эксплуатации, более 20 % составляют отказы в результате износа деталей подшипников опор ротора [3]. Необратимый и сложный характер изнашивания, разнообразие его видов, которое существенно зависит от внешних условий и характеристик узлов трения, затрудняют создание диагностических устройств и выбор наиболее информативных диагностических параметров.

Действующие механизмы разрушения трущихся поверхностей в подшипниках ГТД определяются видом формирующихся частиц изнашивания. Размер, форма и химический состав таких частиц связаны с характером повреждаемости активного слоя при различных видах поверхностного разрушения. Поступление продуктов изнашивания (ПИ) в смазочное масло позволяет определять характер процесса изнашивания. Анализ формы, размеров, химического состава и физических свойств ПИ позволяет охарактеризовать процессы разрушения поверхностей трения [4]. Поэтому необходимы средства диагностики различной сложности, которые могут основываться на контроле содержания ПИ в смазочном материале, анализе химического состава смазочной среды, различных физических методах контроля состояния узлов трения. Как

показывает анализ, прогнозирование аварийных состояний во всех случаях наиболее эффективно по параметрам прямых «свидетелей» разрушения — ПИ, которые несут наиболее объективную информацию о состоянии узлов трения.

Существующие теории по-разному подходят к объяснению механизма изнашивания и образования ПИ. В самом общем случае состояние подшипника качения, развитие его дефектов за весь период службы можно разделить на пять этапов. Этапы развития дефектов в подшипниках качения можно выразить в графическом виде.

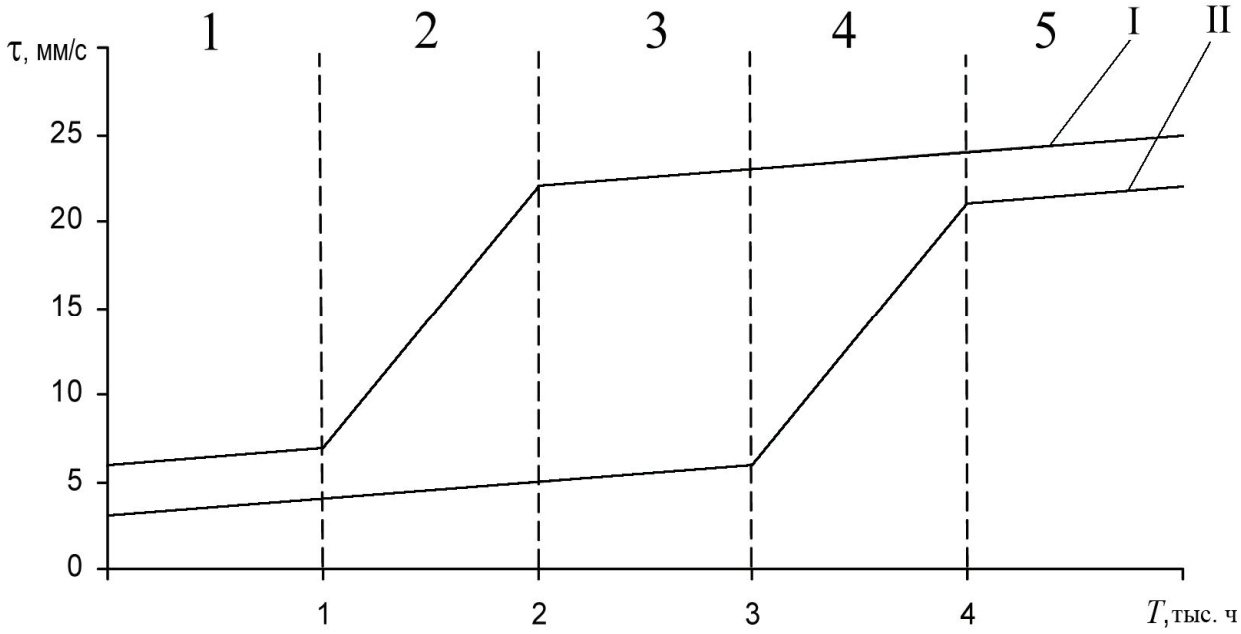


Рис. 1. Этапы развития дефектов подшипника:
τ – уровень вибрации, мм/с; *T* – время наработки, ч

На рис. 1 по вертикали отложен уровень вибрации в мм/с, а по горизонтальной оси — этапы развития дефектов. Состояние подшипника определяется двумя ломаными линиями. Нижняя (II) соответствует уровню фона вибрации на каждом этапе развития дефектов, верхняя (I) — уровню пиков вибрации.

До начала первого этапа (0-1) общее техническое состояние подшипника будем считать идеальным. На этом, “нулевом” этапе развития дефектов пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам “фон” вибрации (в данном случае виброскорости) значительно меньше нормируемого значения.

Этап 1 характеризует нормальный эксплуатационный износ.

Этап 2. Начиная с отметки “1”, в подшипнике появляется и начинает развиваться какой-либо дефект, возникают ударные виброимпульсы, растущие по величине. Энергия импульсов затрачивается на “углубление” дефекта, в результате чего происходит еще большее увеличение

энергии импульсов. Уровень фона вибрации по своей величине при этом остается неизменным, т. к. дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается. Это этап возникновения дефекта в процессе эксплуатации [3].

Этап 3. Начиная с точки “2” на рисунке, ударные импульсы в подшипнике достигают по своей энергии практически максимального значения. На данной стадии остановить дальнейшее развитие дефекта практически невозможно, началось его саморазвитие.

Этап 4. Это зона перехода подшипника к полной деградации. Начинается с точки “3”, зона развития дефекта столь велика, что подшипник начинает “терять” свое основное назначение — обеспечивать вращение валов с минимальным трением. Возрастают затраты энергии на вращение ротора и, как результат, увеличивается энергия, выделяющаяся в подшипнике, растет уровень фона. Это уже этап саморазрушения подшипника.

Этап 5. Это последний этап развития дефекта, когда он охватил весь подшипник. Уровень фона вибрации практически сравнялся с уровнем пиков, вернее говоря, вся вибрация состоит из пиков. Работы подшипников в этой зоне следует избегать. Это этап ожидания аварии, чаще всего, с тяжёлыми последствиями.

Все вышеперечисленные этапы ухудшения состояния подшипника свойственны практически всем видам дефектов, имеющим место в любых разновидностях подшипников. В зависимости от ряда эксплуатационных параметров подшипников могут лишь наблюдаться различия в длительности этапов и интенсивности процессов в них, но общая картина развития не меняется.

Следует отметить, что часто в сопряжении при трении реализуется целый комплекс видов изнашивания, поэтому на практике необходимо обращать внимание на тот вид разрушения, который преобладает, так как для определенных узлов трения, работающих в реальных условиях, будут информативны преобладающие виды разрушений.

В подшипниках качения ГТД основным видом изнашивания являются усталостные разрушения [5], когда в нагруженной поверхности появляются микротрещины, которые при последующем нагружении становятся причиной ее выкрашивания и образования ямок (питтинга). К сожалению, пока еще отсутствует единое мнение относительно глубины зарождения микротрещин. Усталостные микротрещины могут возникать в виде небольших V-образных щелей, которые затем увеличиваются под действием высокого давления в смазочном материале при гидродинамической и эластогидродинамической смазке. При этом номинальное давление на контакте может превышать 100 МПа.

При работе подшипников качения ГТД сочетаются такие виды изнашивания как адгезионное, коррозионное, абразивное, схватывание, усталостное, причем каждому из этих процессов соответствуют ПИ определенного размера и формы.

Таким образом, техническое состояние подшипников опор ротора ГТД можно диагностировать в результате исследования количества, размеров ПИ и анализа динамики их поступления в смазочное масло. Методика анализа проб масла на феррографе прямого считывания в этом случае не позволяет определить состояние опор ротора ГТД. Исследование предварительно приготовленных феррограмм на ферроскопе требует больших трудозатрат и специальной подготовки обслуживающего персонала.

Перспективно применение метода контроля технического состояния узлов трения по содержанию металлических частиц в масле с использованием индуктивного датчика износа [2]. В отличие от традиционных методов, основанных на контроле содержания ПИ в пробах масла, отобранных из систем смазки механизмов, данный метод имеет ряд преимуществ.

1. Интегральная оценка массы осадка, собранного за определенный период работы механизма, повышает точность диагностической информации за счет исключения влияния колебаний концентраций ПИ в системах смазки, связанных с изменениями режимов работы механизмов, свойств масел и т.д.

2. Исключается влияние большого количества погрешностей, накапливающихся в процессе отбора, хранения, транспортировки, приготовления и исследования проб масла.

С другой стороны, конструктивная реализация данного метода позволяет значительно снизить стоимость системы диагностирования по сравнению со средствами виброакустического анализа.

В состав комплекта входят датчики износа, регистрирующий блок, соединительный кабель, эталонный датчик.

Датчик износа состоит из корпуса, в котором расположен магнитный сердечник, и чувствительного элемента, представляющего собой индуктивный преобразователь, помещенный в корпус и соединенный разъемом с измерительной схемой регистрирующего блока.

Принцип действия датчика основан на изменении параметров индуктивного преобразователя при поступлении продуктов изнашивания на чувствительный элемент при помощи поля магнитного сердечника.

Регистрирующий блок (РБ) служит для контроля содержания металла на датчике в процессе работы контролируемого механизма (рис. 2). РБ при помощи цифрового индикатора осуществляет измерение массы металла в мг, собранного датчиком.

Рис. 2. Датчик износа и регистрирующий блок

С нашей точки зрения актуально создание датчика, разделяющего ПИ на два характерных размера, соответствующих предельному и нормальному состоянию трущихся поверхностей. Необходимо также уделить внимание разработке простого метода экспресс-анализа смазочного масла, позволяющего получить распределение ПИ по характерным размерам и использовать его для различных методик диагностирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Propulsion. – 2003. – April. – P. 44-46.
2. Денисов В.Г., Матвеевский Б.Р. Контроль состояния узлов судовых двигателей в процессе эксплуатации // Вестник машиностроения. – 1989. – №9. – С. 20-21.
3. Власов В.М., Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
4. Диагностика изнашивания смазанных подвижных сопряжений / Н.К. Мышкин, О.В. Холодилов, Л.В. Маркова, М.С. Семенюк // Трение и износ. – 1986. – Т. 7. – № 6. – С. 109-110.
5. Ермаков Г.И. Диагностирование технического состояния авиационных двигателей путем анализа работающего масла // Воздушный транспорт. Обзорная информ. – М.: ЦНТИ ГА, 1985. – 42 с.

УДК 621.311

Жиленков А.А.
КГМТУ

РАЗРАБОТКА ВОПРОСОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В СЕТИ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ

Вступление. В связи с наблюдающимся широким применением во всех отраслях хозяйства частотно-регулируемых приводов становится все в большей мере актуальной проблема обеспечения электромагнитной совместимости электрооборудования. На морских судах эта проблема тем более важна в связи с тем, что мощность судовой электростанции ограничена, а мощность устанавливаемых на борту частотно-регулируемых приводов за последние десятилетия возросла до значений соизмеримых с мощностью станции. В таких условиях суммарная величина генерируемых в сеть гармоник достигает недопустимых значений, нарушая работу электропривода, инициируя срабатывание элементов защиты и вызывая сбои в судовой автоматике и радионавигационной аппаратуре. Большие амплитуды высших гармоник вызывают неустойчивость работы систем судовой автоматики, нагрев электрических машин, износ изоляции фидеров питания и т.д. Кроме того, отсутствие в судовой электросети нейтрального провода, неравномерность нагрузки фаз генератора электростанции и, как следствие, отличие форм напряжений генератора от форм его ЭДС, не позволяет сформировать верную функцию управляющего воздействия, в результате чего происходят сбои в управлении ключами преобразователей.

Материал и результаты исследования. Форма тока, потребляемого из сети трехфазным преобразователем, как и напряжение, генерируемое им, является сложной функцией управляющего воздействия — угла открытия и закрытия вентилей и различных возмущающих воздействий, например, фаз токов статора асинхронного двигателя (АД), форм напряжений синхронного генератора (СГ) и несимметрии параметров его фаз, случайных возмущений в сети и т.п. В результате экспериментальных исследований было обнаружено, что искажения, вносимые полупроводниковым преобразователем в форму напряжения сети, влияют на работу самого преобразователя и всех преобразователей, работающих от этой сети, т.к. влияние осуществляется по цепи питания. Отсутствие в судовой электростанции нейтрального провода делает систему формирования импульсов управления силовыми ключами критичной к подобным искажениям и даже неработоспособной. Посылая управляющие импульсы в ошибочное время, система создает дополнительные

искажения, вносимые как в выходную цепь, так и в питающую сеть. При работе экспериментальной установки, было четко отмечено, что с увеличением нагрузки, а особенно с уменьшением коэффициента мощности нагрузки, появлялись пропуски на осциллограммах снятых с каналов формирователя управляющих импульсов, затем импульсы становились хаотичными, что приводило к неизбежному срыву работы автономного инвертора. Ясно, что для корректной работы преобразователя необходимо иметь формы ЭДС генератора. Т.к. мы рассматриваем сеть без нейтрали, то сигналы ЭДС генератора необходимо восстанавливать через искаженные напряжения фаз. В береговых установках для устранения подобных явлений, как правило, сигналы необходимые для работы средств автоматического управления, в частности напряжения питающей сети, из которых формируются сигналы управления элементами преобразователей, берутся до трансформаторов подстанции питающей силовую часть предприятия. Такой подход дает положительные результаты в сетях неограниченной мощности, каковой и является для рассматриваемых случаев береговая электроэнергетическая сеть. Попытки решения данной проблемы при помощи различных пассивных и активных фильтров, фигурирующие в различной литературе и внедрявшиеся в производство, для судовой сети неэффективны, так как, во-первых, конденсаторные фильтры в цепях управления сами вносят фазовый сдвиг только усугубляя тем самым ошибки управления. Во-вторых, частота судовой сети является величиной нестабильной и настроенные на определенную частоту силовые фильтры в таких условиях только ухудшают гармонический состав сетевого напряжения.

Для исследования процессов протекающих в рассматриваемой системе, была создана математическая модель, описывающая работу синхронного генератора ограниченной мощности на преобразователь, учитывающая асимметрию, нелинейность элементов системы и процессы коммутации в выпрямителе. Для этого, прежде всего, потребовалось создать методику решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, так как исследуемая система имеет изменчивую структуру и описывается квазилинейными дифференциальными уравнениями. В результате были написаны функции, встраиваемые в выбранную для моделирования среду MathCad, позволяющие решать системы нелинейных дифференциальных уравнений и описывать работу преобразователей с текущим контролем параметров схемы, по которым происходит изменение структуры системы уравнений, т.е., к примеру, моделируется переключение силовых ключей преобразователя.

Исследуемая схема для одного из своих состояний имеет вид, представленный на рис. 1, и содержит синхронный генератор, выпрямитель, инвертор и трехфазную нагрузку.

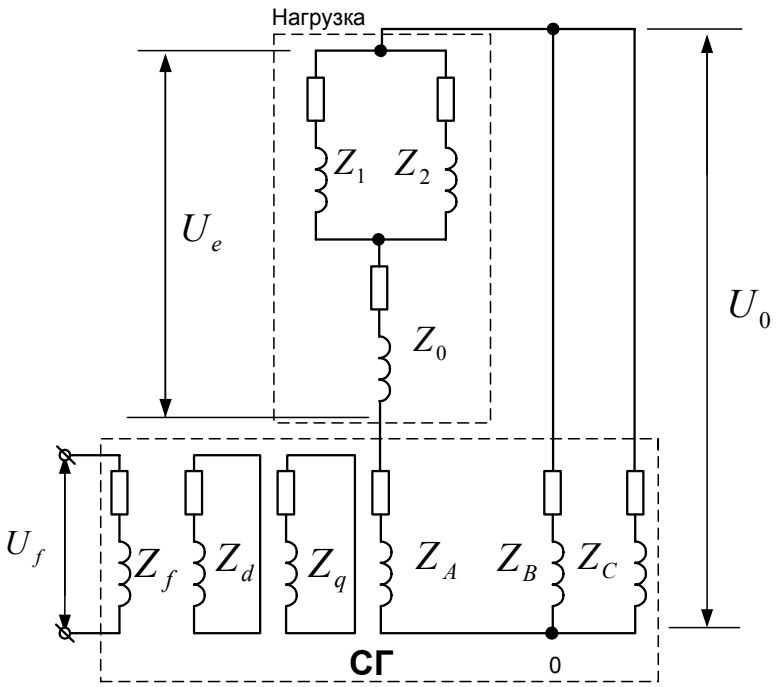


Рис.1. Схема описывающая работу СГ на АИН для момента коммутации при закрытии вентиля фазы С и открытии вентиля фазы В

Описывается схема системой уравнений (1).

$$\begin{cases} U_0 = U_e H_A + r_A i_A + p\Psi_A \\ U_0 = U_e H_B + r_B i_B + p\Psi_B \\ U_0 = U_e H_C + r_C i_C + p\Psi_C \\ U_f = r_f \cdot i_f + p\Psi_f \\ 0 = r_d \cdot i_d + p\Psi_d \\ 0 = r_q \cdot i_q + p\Psi_q \\ U_e = r_0 i_0 + r_1 i_1 + p\Psi_0 + p\Psi_1 \\ U_e = r_0 i_0 + r_2 i_2 + p\Psi_0 + p\Psi_2 \\ i_0 = i_2 + i_1 \\ i_A + i_B + i_C = 0 \\ i_0 = i_A H_A + i_B H_B + i_C H_C \\ ps = \dfrac{M_{ДИЗ} - M_{СГ}}{T_j} \\ p\theta = s \\ \Psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f + M_{AД} i_Д + M_{Aq} i_q \\ \quad . \quad . \quad . \\ \Psi_q = M_{Aq} i_A + M_{Bq} i_B + M_{Cq} i_C + M_{fq} i_f + M_{Дq} i_Д + L_q i_q \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь U_e — напряжение на входе выпрямителя; i_0, i_1, i_2 — токи в фазах нагрузки инвертора; H_A — переменные, принимающие дискретные значения (-1, 0, 1) и отражающие состояние ключей выпрямителя.

Работа инвертора задана в неявном виде в выражениях описывающих коммутацию нагрузки на выходе инвертора.

При моделировании синхронных генераторов, являющихся основным источником энергии на судах, широко пользуются полными уравнениями Парка-Горева во вращающейся системе координат. Однако такой подход неудобен в нашем случае, когда необходимо учитывать несимметричность и описывать переключательные функции ключей полупроводниковых преобразователей, что связано с необходимым, в таком случае, переходом к гармоническому виду и обратно. В связи с этим, переход к моделированию во вращающейся системе координат не осуществлялся. Но, так как каталожные параметры генераторов заданы в виде, используемом для моделирования по уравнениям во вращающихся синхронно с ротором осях, был проведен расчет, связывающий эти данные с физическими параметрами генератора. Для учета насыщения по магнитным цепям были введены зависимости индуктивностей от тока, примерный вид которых приведен на рис. 2.

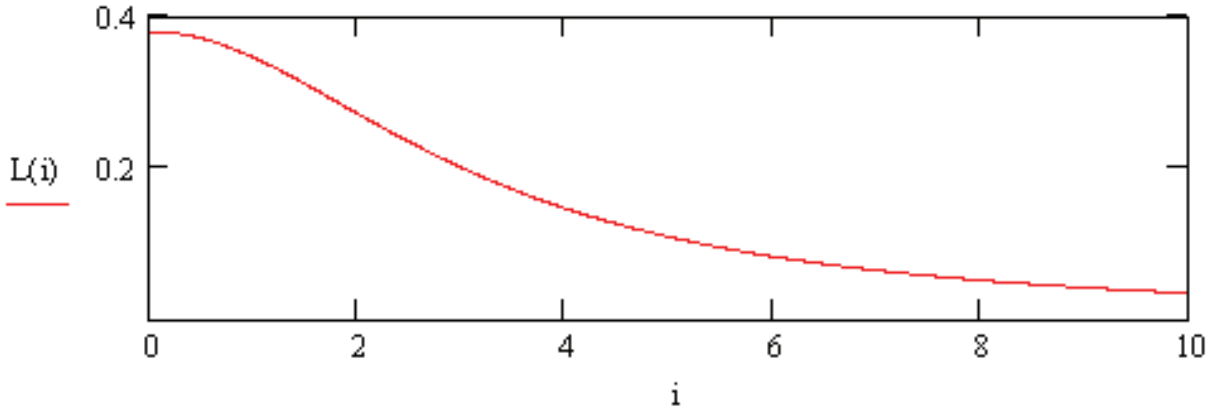


Рис. 2. Зависимость индуктивности фазы нагрузки от тока

Сравнение расчетных данных полученных на этой модели с экспериментальными данными показало, что отклонение между ними не превышает 10 %.

Вопрос восстановления форм ЭДС решался синтезом наблюдающего устройства, восстанавливающего необходимые сигналы из имеющихся и поддающихся измерению параметров питающей сети на входе преобразователя и параметров на его выходе. Для этой цели подходит теория модального управления и наблюдающих устройств. Так как модальное управление, само по себе является наиболее эффективным для

сложных объектов управления с высоким порядком n характеристического полинома, то для его реализации потребовалось бы и n датчиков для создания модального регулятора. Известно, что в системах управления датчики – наиболее дорогостоящие устройства. Более того, не все переменные состояния могут быть доступны непосредственному измерению. Поэтому для реализации модального регулятора не измеряемые переменные состояния выделяются косвенным способом. Для этой цели и применяют наблюдающие устройства.

Теория наблюдающих устройств позволяет создавать математическую модель, описывающую объект наблюдения целиком или частично, работающую в реальном времени, имеющую общие с объектом физические входные переменные, дополнительную обратную связь по разности между доступными измерению выходными переменными объекта управления и их математическими оценками наблюдателем.

Чтобы синтезировать наблюдатель, необходимы:

- A — квадратная матрица состояния размером $n \times n$;
- B — столбцовая матрица управления размером $n \times 1$.

Выходные наблюдаемые сигналы определяются через сигналы состояния и прямоугольную матрицу вывода (размерностью $m \times n$) выражением $y=Cx$.

Матричное уравнение наблюдателя:

$$\hat{x} = A \cdot \hat{x} + B \cdot u + K \cdot \left(y - C \cdot \hat{x}\right), \qquad (2)$$

где $\hat{x}$ — изображение восстановленных наблюдающим устройством сигналов; K — матрица весов невязок (разностей) между наблюдаемым выходным сигналом y и восстановленным выходным сигналом $\hat{y} = C \cdot \hat{x}$.

В исследуемой схеме доступными для измерения можно считать токи и напряжения в сети и в нагрузке. Составляя, таким образом, систему описывающую наблюдатель и подбирая элементы в образовавшейся матрице весов невязок, мы получаем модель наблюдателя восстанавливающего сигналы исследуемой схемы, не поддающиеся измерению. Взаимодействие наблюдателя с блоками автономного инвертора показано на рис. 3.

Вывод. Построенное наблюдающее устройство позволяет обеспечить устойчивость работы мощных полупроводниковых преобразователей в судовых сетях. Восстановленные наблюдателем сигналы пропорциональны ЭДС генератора и позволяют формировать сигналы управления ключами преобразователя, обеспечивающие его нормальная работу в условиях значительной искаженности напряжений и токов питающей сети.

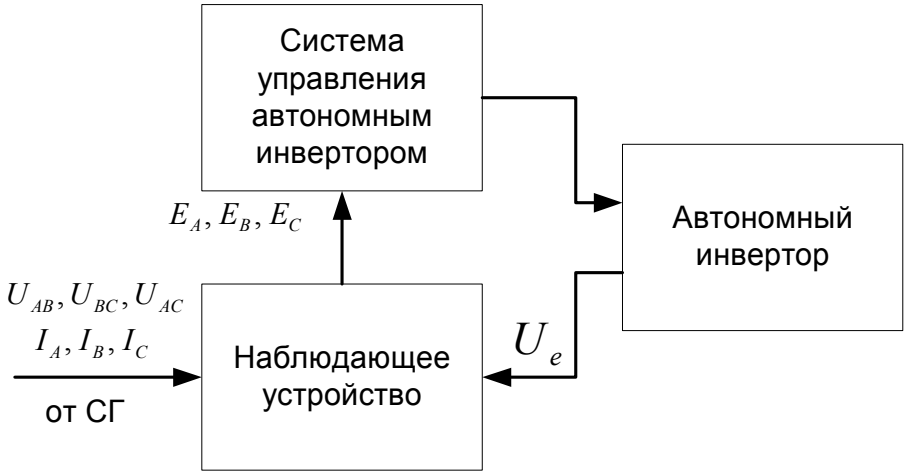


Рис. 3. Блок-схема взаимодействия наблюдающего устройства с автономным инвертором

Кроме того, электрическая схема наблюдателя, синтезированная по модели (2), описывающей его, делает возможной работу множества промышленных преобразователей рассчитанных на применение в сетях с нейтралью. Например, подавляющее большинство промышленных преобразователей осуществляющим функцию векторного управления электроприводом, необходим сигнал нейтрали, без которого подобные преобразователи работать не в состоянии. Дополнение схем указанных преобразователей подобным наблюдающим устройством позволяет обеспечивать их работу в исследуемых в настоящей статье электрических сетях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко В.М. Методы и алгоритмы анализа статических и динамических режимов нелинейных цепей. – Киев, 1974. – 105 с.
2. Глухивский Л.И. Расчет периодических процессов электротехнических устройств. – Львов: Вища школа, 1984. – 164 с.
3. Aprille T.I., Triek T.N. A computer algorithm to determine the steady-state response for non-linear oscillator. // IEEE Trans. Circuit theory. – 1972. – Vol. 19. – P. 354-360.
4. Мерабишвили П.Ф., Случанко Е.И. Исследование переходных и установившихся процессов в трехфазных мостовых выпрямителях с помощью коммутационных функций. // Электричество. – 1973. – № 4. – С. 21-26.
5. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин (АВМ). – М.: Высш. школа, 1980. – 176 с.
6. Шейнихович В.В., Климанов О.Н., Пайкин Ю.И., Зубарев Ю.Я. Качество электрической энергии на судах: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. –160 с.

7. Плахтина О.Г., Мазепа С.С., Куцик А.С. Частотно-управляемые асинхронные и синхронные электроприводы. – Львов: Изд. нац. ун-та «Львовская политехника», 2002. – 227 с.

УДК 629.12.03:628.05

Истомин В. И.
СевНТУ

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД СЭУ В ТКАНЕВЫХ ФИЛЬТРАХ С УЧЕТОМ ИХ ПОРИСТОСТИ

Общая постановка проблемы и её связь с научно-техническими задачами. В настоящее время вопросы охраны окружающей среды настоятельно требуют своего решения. Составной частью этой глобальной задачи является проблема предотвращения загрязнения моря нефтью в результате судоходства.

Особенно остро стоит проблема глубокой очистки судовых нефтесодержащих вод, что связано с необходимостью выполнения требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL - 73/78, согласно которым содержание нефтепродуктов в очищенных нефтесодержащих водах, сбрасываемых с судов не должно превышать 15млн$^{-1}$ [1].

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Эксплуатируемые в настоящее время отечественные и зарубежные сепарационные установки не вполне отвечают современным требованиям, предъявляемым к ним Международной морской организацией IMO. Одни не обеспечивают требуемой степени очистки нефтесодержащих вод, другие имеют малый ресурс работы и большие габариты, третьи сложны в изготовлении и эксплуатации [2]. Поэтому является актуальным и своевременным проведение исследований в области повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод.

Большими возможностями повышения эффективности работы обладают коалесцирующие элементы, имеющие нежесткую структуру, к которым можно отнести тканевые фильтроэлементы.

Цель исследований. Рассчитать рациональную скорость фильтрации и пористость тканевых фильтроэлементов для оптимизации процесса очистки нефтесодержащих вод

Результаты исследования. В процессе теоретического и экспериментального исследований процесса фильтрации нефтесодержащих вод СЭУ в тканевых фильтрах получена математическая модель исследуемого процесса на основе критериального уравнения [3]

$$K'_{\text{вых}} = 1,53 \cdot 10^4 \cdot Eu^{-0,344} \cdot Vi^{0,181} \cdot Se^{-0,136}, \qquad (1)$$

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho U^2}; \quad \frac{\sigma_{\text{нв}} d_{\text{н}} n_{\text{с}}}{\mu a U} = Vi; \quad Se = \frac{\sigma_{\text{нв}} d_{\text{н}} n_{\text{с}}}{K_{\text{вх}} \Delta\rho L^2 a g},$$

где $K'_{вых}$ — концентрация нефтепродуктов после тканевого фильтроэлемента и вспомогательного отстойника, млн$^{-1}$; Δp — перепад давления на тканевом фильтре, МПа; ρ — плотность нефтеводяной эмульсии, кг/м³; U – скорость фильтрации нефтеводяной эмульсии, м/с; $\sigma_{нв}$ — поверхностное натяжение на границе раздела сред нефть-вода, н/м; $d_н$ — диаметр нити фильтрующей ткани, м; $n_с$ – число слоев фильтрующей ткани; μ — коэффициент динамической вязкости эмульсии, Па/с; a — размер ячейки фильтрующей ткани, м; $K_{вх}$ — концентрация нефтепродуктов в исходной нефтеводяной эмульсии, млн$^{-1}$; g — ускорение свободного падения;

В гидродинамические комплексы подобия *Eu, Vi, Se* входит скорость фильтрации нефтеводяной эмульсии в тканевом фильтре U.

При определении реальной скорости движения нефтеводяной эмульсии в тканевом фильтре необходимо учитывать пористость фильтрующей ткани:

$$U = \frac{Q}{F_ф S} = \frac{q}{S}, \tag{2}$$

где Q — расход нефтеводяной эмульсии через тканевый фильтр, м³/с; $F_ф$ — площадь тканевого фильтра, м²; S — пористость материала фильтрующей ткани; q — удельный расход нефтеводяной эмульсии, м/с.

Боковую площадь тканевого фильтроэлемента $F_ф$ можно определить, зная его диаметр $d_ф$ и высоту слоя $h_ф$ (рис. 1):

$$F_ф = \pi d_ф \cdot h_ф. \tag{3}$$

Пористость фильтрующей ткани можно найти по формуле

$$S = \frac{F_п}{F_ф}, \tag{4}$$

где $F_п$ — площадь проходного сечения пор фильтрующей ткани.

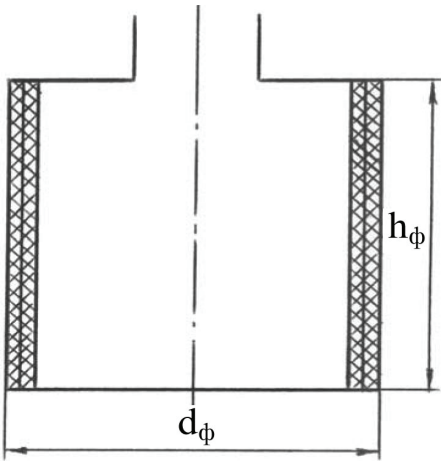


Рис. 1. Схема тканевого фильтроэлемента

Площадь проходного сечения пор фильтрующей ткани найдем по формуле

$$F_n = m_1 \cdot m_2 \cdot a^2, \tag{5}$$

где m_1 — число ячеек, укладывающихся по высоте ткани; m_2 — число ячеек, укладывающихся по длине ткани равной $\pi d_ф$.

Числа m_1 и m_2 можно найти, зная диаметр нити ткани и размер ячейки:

$$m_1 = \frac{h_ф - d_н}{d_н + a}; \; m_2 = \frac{\pi d_ф - d_н}{d_н + a}. \qquad (6)$$

Учитывая, что $h_ф >> d_н$ и $\pi d_ф >> d_н$, формулы (6) можно записать в следующем виде:

$$m_1 = \frac{h_ф}{d_н + a}; \; m_2 = \frac{\pi d_ф}{d_н + a}. \qquad (7)$$

Тогда пористость фильтрующей ткани можно определить по следующей формуле:

$$S = \frac{\pi d_ф \cdot h_ф \cdot a^2}{(d_н + a) \cdot \pi \cdot d_ф \cdot h_ф} = \frac{a^2}{(d_н + a)(d_н + a)} = \frac{a^2}{(d_н + a)^2} \qquad (8)$$

С учетом вышеизложенного можно записать окончательную формулу для определения скорости нефтеводяной эмульсии в тканевом фильтре:

$$U = \frac{Q \cdot (d_н + a)^2}{F_ф \cdot a^2} = \frac{q \cdot (d_н + a)^2}{a^2}. \qquad (9)$$

Как следует из формулы (9), реальная скорость течения нефтеводяной эмульсии в тканевом фильтре зависит от размера ячейки и диаметра нити ткани. Кроме того, если нить фильтрующей ткани состоит из нескольких волокон, то необходимо учитывать и проницаемость самой нити ткани.

Перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод промышленных предприятий.

Выводы. В результате проведенного расчета определена реальная скорость фильтрации нефтесодержащих вод СЭУ в тканевых фильтроэлементах с учетом пористости, которая зависит от размера ячейки и диаметра нити ткани, это позволит повысить качество проектирования и эффективность использования средств предотвращения загрязнения моря нефтью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. – М.: Изд-во ЦРИА «Морфлот», 1980. – 364 с.

2. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. – М.: Транспорт, 1979. – 336 с.
3. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. – 219 с.

УДК 517.938

Воловник М.С.
ОНМА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Микропроцессорные системы управления в настоящее время широко внедряются в промышленности и на флоте. Микропроцессорные регуляторы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными механическими, электромеханическими и электронными регуляторами. Важнейшими преимуществами является возможность обработки большого количества входных сигналов и автоматической перенастройки параметров при изменении условий эксплуатации.

Целью данной работы является определение структуры микропроцессорного регулятора частоты вращения главного двигателя, выполняемых им функций и перечня входных и выходных сигналов, подлежащих обработке и формированию.

Указанные задачи решаются на основе анализа алгоритмов работы главного судового двигателя в режимах пуска, реверса, остановки и различных ходовых режимов

Предлагаемая микропроцессорная система регулирования (рис. 1) должна представлять собой полностью укомплектованное устройство, которое будет решать все задачи по управлению частотой вращения судовых тихоходных дизелей.

Задание величины частоты вращения должно осуществляться с одного из двух разных постов управления.

Данная система должна также отрабатывать команды на пуск, реверс либо снижение оборотов или остановку двигателя, поступающие с поста управления или от внешней системы защиты. Должно быть предусмотрено также выполнение таких функций как ограничение нагрузки.

Система должна быть оборудована кнопочной панелью, благодаря которой обеспечивается гибкость в задании параметров, настройке и проверке работоспособности регулятора. Перемещение рейки топливного насоса должно осуществляться электрическим сервоприводом, снабженным 3-х фазным бесщёточным электродвигателем, выполняющим функцию исполнительного силового элемента.

Основной задачей, решаемой системой, является управление положением вала сервомотора подачи топлива в двигатель, обеспечивающее поддержание частоты вращения вала дизеля на заданном значении.

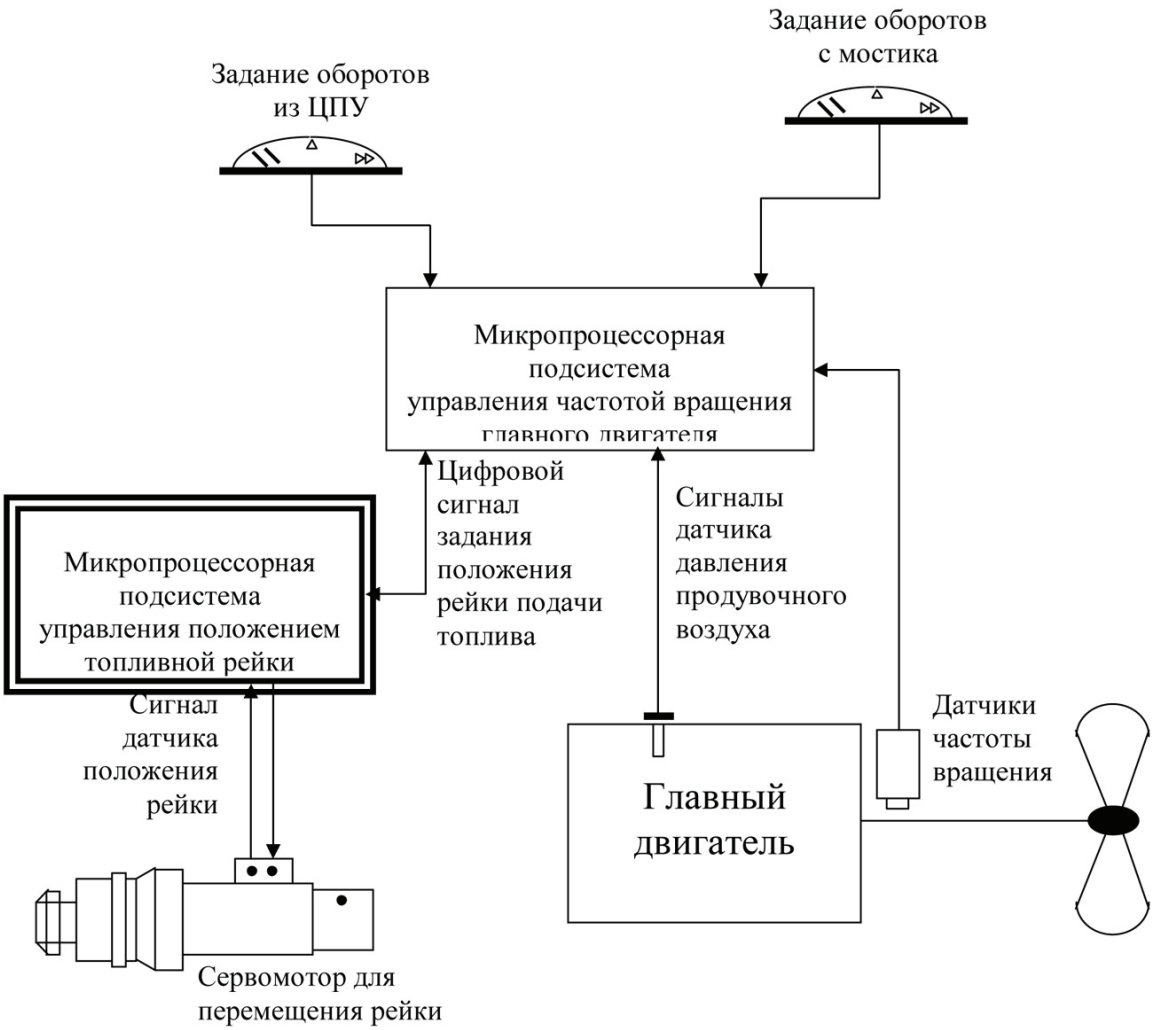


Рис. 1.

Система функционально подразделяется на две автономные подсистемы. Первая из них должна определять требуемое положение топливной рейки в зависимости от разницы между заданным и реальным значением частоты вращения двигателя с учетом имеющихся ограничений. Вторая подсистема должна реализовать функцию управления сервомотором подачи топлива, отрабатывая задающий сигнал положения топливной рейки, который поступает от первой подсистемы.

Частота вращения гребного вала должна измеряться с помощью двух датчиков индукционного типа, которые располагаются внутри двигателя в непосредственной близости от маховика и для повышения надежности системы дублируют друг друга.

Для обеспечения возможности ограничения максимальной подачи топлива в зависимости от давления воздуха наддува в системе должен осуществляться контроль величины этого давления.

Датчик обратной связи по положению топливной рейки должен представлять собой преобразователь перемещение-код с высокой разрешающей способностью.

На микропроцессорный регулятор должны подаваться следующие аналоговые входные сигналы:

- два входных сигнала по частоте вращения маховика двигателя, поступающие от двух импульсных датчиков, полностью дублирующих друг друга. Диапазон измеряемых скоростей должен составлять до 300 об/мин., что обеспечит приспособляемость системы для регулирования частоты вращения как самых малых двигателей (с частотой вращения до 250 об/мин.), так и для крупных двигателей (с низкой частотой вращения порядка 60 об/мин.). Минимальная частота выходного сигнала датчика составляет 4 Гц, частота импульсов зависит от скорости вращения вала двигателя и числа зубьев на колесе маховика.
- два входных сигнала для задания величины частоты вращения вала. Параметры сигналов: токовые в диапазоне 4 - 10 мА, потенциальные в диапазоне 0 - 10 В либо резистивные, снимаемые с потенциометра с сопротивлением 5 кОм.
- один входной сигнал по давлению воздуха наддува. Диапазон изменения сигнала 4 - 20 мА.
- два входных сигнала по величине индекса топливного насоса. Вид сигналов: токовые в диапазоне 4 - 20 мА или потенциальные в диапазоне 0 - 10 В постоянного тока. Эти сигналы отражают положение исполнительного вала сервомотора.

Кроме аналоговых сигналов на микропроцессорный регулятор должны подаваться следующие логические входные сигналы:

- сигнал на остановку от внешней системы защиты;
- сигнал выбора одного из двух командных сигналов;
- сигнал на снижение оборотов, поступающий от внешней системы защиты;
- сигналы задания режима работы главного двигателя: СТОП, ПУСК, ХОДОДОВОЙ РЕЖИМ;
- сигнал об обесточивании от системы ДАУ ГД (для сохранения частоты вращения ГД на прежнем уровне);
- сигналы предельных выключателей (или ограничителей подачи топлива) от системы ДАУ ГД или от переключателей в ЦПУ.

Основные функции, которые должен выполнять регулятор.

Функция регулирования частоты вращения двигателя.

Величина задаваемой частоты вращения должна автоматически вычисляться для всех режимов работы двигателя, таких как пуск/стоп, пониженные обороты, аварийный ход, нормальный ход. Измеренное фактическое значение оборотов преобразуется из частотно-импульсного сигнала датчика в отфильтрованный цифровой код. На основании раз-

ности между заданным и текущим значением оборотов вычисляется оптимальная величина корректировки заданной топливоподачи, учитывающая как текущее значение оборотов, так и нагрузку двигателя.

Максимальная подача топлива ограничивается в соответствии с допусками, задаваемыми в зависимости от оборотов двигателя и давления воздуха наддува.

Функция обработки сигнала задания частоты вращения.

Должен быть предусмотрен выбор входного сигнала задания частоты вращения двигателя либо от системы ДАУ на мостике либо от маневрового рычага в ЦПУ.

Оператор должен иметь возможность уменьшить величину максимально допустимых оборотов, запрограммировав соответствующее значение с помощью функции Ограничения Задания.

В аварийных ситуациях, таких как «снижение оборотов» или «резервное поддержание оборотов» величина задания частоты вращения ГД должна автоматически устанавливаться самой системой.

Должна быть предусмотрена функция Ограничения Ускорения Задания, что позволит оператору ограничить ускорение либо замедление двигателя при разгоне или снижении оборотов.

Должна быть предусмотрена функция ускоренного прохождения критических зон скоростей двигателя, при которой задаваемое значение скорости скачком переключается за запрещенный диапазон.

С помощью функции СТАРТ/СТОП должен производиться автоматический выбор величины задания топливоподачи в этих режимах.

Функция предварительной обработки сигналов датчиков частоты вращения гребного вала

Должно производиться непрерывное тестирование исправности датчиков частоты вращения гребного вала с автоматическим переключением на исправный дублирующий канал

Должна производится автоматическая фильтрация вибрационных помех в измеряемом сигнале, вызываемых крутильными колебаниями вала при малых скоростях, а также фильтрация высокочастотных составляющих сигнала измерения скорости вращения вала.

Для представления на цифровом дисплее частоты вращения гребного вала должна производиться дополнительная фильтрация сигнала датчика

Функция задания коэффициентов усиления регулятора по пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющим

Должно быть предусмотрено уменьшение в заданной полосе коэффициента усиления сигнала рассогласования для подавления низкоамплитудных шумов. Ширина этой зоны нечувствительности должна выбираться.

В системе должна осуществляться автоматическая регулировка коэффициента усиления по интегральной составляющей в законе регулирования в соответствии с рабочими параметрами двигателя, а также автоматическая регулировка коэффициента усиления по пропорциональной составляющей в зависимости от рабочей скорости.

Должно быть предусмотрено введение в закон регулирования сигнала по производной от изменения частоты вращения (в зависимости от погодных условий).

Функции ограничения подачи топлива

Система должна обеспечивать ограничение задания подачи топлива в соответствии с винтовой нагрузочной характеристикой двигателя, а также в функции давления воздуха наддува.

Кроме этого должно быть предусмотрено задаваемое вручную ограничение для установки абсолютного допустимого максимального предела подачи топлива, а также функция селективности, обеспечивающая выбор и передачу на исполнение наименьшего из задаваемых пределов топливоподачи.

В системе должна обеспечиваться нелинейная компенсация в соответствии с положением вала исполнительного сервомотора и нелинейная компенсация, учитывающая утечку в топливном насосе при низких скоростях вращения двигателя.

Функции управления серводвигателем

Управление серводвигателем, устанавливающим положение топливной рейки, должно производиться по пропорционально - интегральному закону с настройкой параметров закона регулирования.

Должно быть предусмотрено масштабирование выходного сигнала микропроцессорного контроллера для его согласования с входом усилителя, управляющего серводвигателем.

Должен быть обеспечен контроль и сигнализация состояния сервомотора, а в случае аварии, фиксация положения его исполнительного вала.

Предлагаемая микропроцессорная система регулирования частоты вращения главного двигателя была исследована путем моделирования в системе «МАТЛАБ – СИМУЛИНК». При этом проверялось действие цифрового ПИД-регулятора частоты вращения ГД в режиме периодических колебаний нагрузки на гребном валу с разной частотой и амплитудой.

В результате было получено, что при колебаниях момента сопротивления с амплитудой 20% от номинального значения колебания частоты вращения не превышают 5% от номинального значения.

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемая микропроцессорная система обеспечивает эффективную стабилизацию частоты

вращения главного двигателя как в статических, так и в динамических режимах, вызванных колебаниями момента сопротивления на валу двигателя при качке судна в штормовую погоду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных И.В. СИМУЛИНК: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 496 с.
2. Виноградов А.А. Автоматическое регулирование частоты вращения вала главных судовых дизельных двигателей: – Одесса: ОНМА, 2006. – 148 с.

УДК 656:621.431

Коханский А.И., Колпакчи Э.М.
ОНМА, УДП

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Постановка задачи. Одна из главных задач эксплуатации двигателей речных пассажирских судов — сохранить основные параметры дизеля на уровне оптимальных при работе судна на малых глубинах, при высокой температуре забортной воды. Для её решения важную роль играет охлаждение наддува двигателя. Для этого предложен [1] двухсекционный охладитель наддувочного воздуха, одна из секций которого охлаждается забортной водой. Процессы теплообмена в ней протекают при сухой поверхности (со стороны воздуха) — сухой теплообмен, а процессы теплообмена во второй секции протекают при влажной поверхности (влажный теплообмен) — охлаждение промежуточным охладителем (вода или рассол).

Поэтому целью данной работы является создание математической модели нестационарных процессов охладителя наддувочного воздуха (ОНВ) при сухом теплообмене, как объекта управления.

Нестационарные процессы изменения параметров в охладителе наддувочного воздуха описываются дифференциальными уравнениями, определяемыми из основных законов сохранения энергии, количества движения и массы применительно к взаимодействующим средам: охлаждаемый воздух, охлаждающая забортная вода (или промежуточный охладитель) и разделяющая их металлическая оболочка. ОНВ будем рассматривать как аппарат при конвективном теплообмене с однофазными средами при перекрестном потоке теплоносителей. Если ОНВ рассматривать как объект с распределенными параметрами по обеим пространственным координатам (l_2 — охлаждающая вода, l_1 — движение воздуха), то после двух обратных преобразований Лапласа по координатам ($l/l_2 = x$ и $l/l_1 = y$) решение приводит к передаточным функциям, в состав которых входят Бесселевы функции или специальные Vi функции (модификация Бесселевых функций), которые не имеют конечного аналитического решения — надо применять численные методы или табулированные значения Vi функций [2, 3].

Поэтому, с целью получения передаточных функций в аналитическом виде, удобных для дальнейших расчетов и моделирования систем управления, мы будем рассматривать ОНВ как аппарат с сосредоточенными параметрами по воздуху и распределенными параметрами по охлаждающей воде.

Решение. При рассмотрении процессов, протекающих в ОНВ, необходимо представлять их как термодинамическую систему, состоящую из трех подсистем: охлаждаемый воздух, теплопередающая поверхность и промежуточный хладоноситель — вода. Такая система является открытой. Через открытые торцы каналов она обменивается с окружающей средой веществом (хладоносителем) и энергией. Поэтому движение хладагента и охлаждаемого воздуха с учетом условий теплообмена между ними описывается, в общем виде, уравнениями (2.1)-(2.8) [4]. Однако такая система является неразрешимой, поэтому вводится ряд допущений, позволяющих упростить задачу и получить аналитические решения в общем виде:

1. Температурные градиенты в потоках жидкости и воздуха, перпендикулярные к направлению движения среды, существуют только в пограничном слое, т.е. теплоноситель характеризуется полным перемешиванием в радиальном направлении.
2. Трехмерная математическая модель теплопередающей поверхности упрощается, и уравнение нестационарной теплопроводности заменяется уравнением теплового баланса
3. В металле теплопередающей поверхности отсутствует осевой тепловой поток.
4. Коэффициенты теплоотдачи не являются функциями координат, т.е. они постоянны по длине аппарата.
5. Внутренних потерь теплоты не существует.
6. В однофазных аппаратах не учитывается изменение плотности и теплоемкости рабочих тел.
7. Коэффициенты теплоотдачи рассматриваются в линейной форме от изменения расходов сред.
8. Тепловое сопротивление стенки по толщине конечно и учитывается в коэффициентах теплоотдачи:

$$\alpha_W = \frac{\alpha_2}{1 + \delta \cdot Bi \cdot \ln \xi}, \tag{1}$$

где $Bi = \dfrac{\alpha_2 \cdot r_2}{\lambda_{CT}}$; r_2 — радиус трубы, α_2— коэффициент теплоотдачи внутренний, а $\xi = \dfrac{d_1}{d_2}$, d_1 — наружный диаметр трубы, d_2 — внутренний диаметр трубы; δ — определяет долю теплопроводности, отнесенной к внутренней границе.

$$\delta = \frac{1}{\ln \xi}\left(\frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} \cdot \ln \xi + \frac{1}{4 \cdot \xi^2} - 0.75\right) \cdot \frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} \tag{2}$$

При этом коэффициенты теплоотдачи, которые будут приниматься в расчетах, принимают вид:

$$\alpha_W = \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2 \cdot \delta \cdot \dfrac{d_2}{2 \cdot \lambda_{CT}} \cdot \ln \xi}; \; \alpha_b = \frac{\alpha_1}{1 + (1 - \delta) \cdot \dfrac{\alpha_1 \cdot d_1}{2 \cdot \lambda_{CT}} \cdot \ln \xi}. \quad (3)$$

Обоснования выше приведенных допущений приведены в работе [4].

Согласно принятой схеме потоков (рис. 1), изолированных снаружи, для элементарного участка dl с учетом перекрестного тока сред и принятых ранее допущений запишем уравнения тепловых балансов в дифференциальной форме:

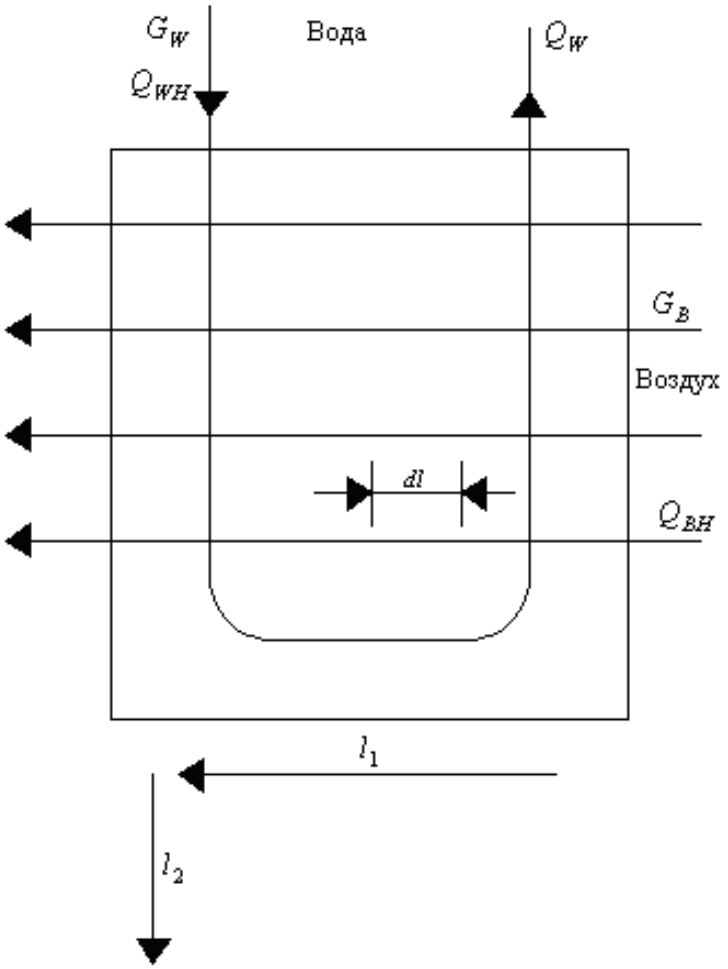


Рис. 1.

- для охлаждающей воды

$$g_W \cdot C_W \cdot \frac{\partial Q_W}{\partial t} dl + l_2 \cdot G_W \cdot C_W \cdot \frac{\partial Q_W}{\partial l_2} dl = \alpha_W \cdot F_W \cdot (Q_{CT} - Q_W) dl; \quad (4)$$

- для внутренней (теплопередающей) стенки

$$g_{CT}C_{CT}\frac{\partial Q_{CT}}{\partial t}dl = \alpha_W F_W(Q_W - Q_{CT})dl - \alpha_B F_B(Q_{CT} - Q_B)dl; \quad (5)$$

- для охлаждаемого воздуха

$$g_B \cdot C_B \cdot \frac{\partial Q_B}{\partial t}dl + l_1 \cdot G_B \cdot C_B \cdot \frac{\partial Q_B}{\partial l_1}dl = \alpha_B \cdot F_B \cdot (Q_{CT} - Q_B)dl, \quad (6)$$

где g — масса (воды, металла, воздуха), кг; C — теплоемкость (воды, металла, воздуха); l_2 — длина пути воды (от входа к выходу), м; l_1 — длина пути по воздуху, м; F — поверхность теплообмена (со стороны воды — F_W и со стороны воздуха — F_B), м^2; $G_{W,B}$ — массовые расходы воды, воздуха, кг/ч; $Q_W = Q_W(l,t)$; $Q_B = Q_B(l,t)$, $Q_{CT} = Q_{CT}(0,t)$ — температура воды и воздуха на выходе аппарата и температура стенки, °С.

Уравнение (6) по каналу охлаждаемого воздуха рассмотрим как модель с сосредоточенными параметрами [5].

В работе [6] приведен критерий возможности применения упрощенной модели для указанного канала в виде

$$\frac{l}{d_{TP}} \le \frac{0.15 \cdot C_B \cdot \rho_B \cdot \omega_B}{\alpha_B},$$

где l — длина трубопровода по ходу воздуха, м; d_{TP} — диаметр канала по воздуху, м; C_B — теплоемкость воздуха; σ_B — скорость воздуха, м/с; α_B — коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха.

Если это соотношение не выполняется, то рекомендуется рассматривать теплообменник по данному каналу с распределенными параметрами. Когда отношение разностей температур на входе и выходе теплообменника $\le$ 2, распределенность параметров сказывается сравнительно мало. Поэтому можно записать

$$Q_B = \frac{Q_B + Q_{BH}}{2}.$$

С учетом выше сказанного и введя безразмерный параметр по пространственной координате $x = \frac{l}{l_2}$, систему уравнений (4), (5), (6) запишем в виде:

$$g_W \cdot C_W \cdot \frac{\partial Q_W}{\partial t} + G_W \cdot C_W \cdot \frac{\partial Q_W}{\partial x} = \alpha_W \cdot F_W \cdot (Q_{CT} - Q_W) \quad (7)$$

$$g_{CT}C_{CT}\frac{\partial Q_{CT}}{\partial t} + \alpha_W F_W\left(Q_W - Q_{CT}\right) - \alpha_B F_B\left(Q_{CT} - \frac{Q_B + Q_{BH}}{2}\right) \quad (8)$$

$$g_B \cdot \frac{C_B}{2} \cdot \frac{\partial Q_B}{\partial t} + G_B \cdot C_B \cdot (Q_B - Q_{BH}) = \alpha_B \cdot F_B \cdot \left(Q_{CT} - \frac{Q_B + Q_{BH}}{2} \right) \quad (9)$$

Система уравнений (7) – (9) является нелинейной. Линеаризуем систему, разложив в ряд Макларена по зависимым переменным и ограничившись двумя членами разложения, вычтя уравнения состояния равновесия с учетом

$$\begin{aligned} \alpha_W &= \alpha_{W0} + \left(\frac{\partial \alpha_W}{\partial G_W} \right)_0 \Delta G_W \\ \alpha_B &= \alpha_{B0} + \left(\frac{\partial \alpha_B}{\partial G_B} \right)_0 \Delta G_B \end{aligned} \quad (10)$$

получим систему линеаризованных уравнений в отклонениях относительно установившегося режима.

После ряда преобразований запишем уравнения в виде:

$$(T_W p + 1)\, \Delta Q_W(x, p) + a_1 \frac{\partial \Delta Q(x, p)}{\partial x} = \Delta Q_{CT}(0, p) + a_2 \Delta G_W(0, p); \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &(T_C p + c_1)\, \Delta Q_{CT}(0, p) = \Delta Q_W(x, p) + 0,5 \cdot c_3 \cdot \Delta Q_B(0, p) + \\ &+0,5 \cdot c_3 \cdot \Delta Q_{BH}(0, p) + c_2 \cdot \Delta G_W - c_4 \Delta G_B; \end{aligned} \quad (12)$$

$$(T_B p + B_2) \Delta Q_B(0, p) = 2\Delta Q_{CT} + B_3 \cdot \Delta G_B(0, p) + B_4 \cdot \Delta Q_{BH}(0, p), \quad (13)$$

где $\frac{d}{dt} = p$ (после прямого преобразования Лапласа по координате времени).

$$T_W = \frac{g_W \cdot C_W}{\alpha_W \cdot F_W}; \; a_1 = \frac{G_W \cdot C_W}{\alpha_W \cdot F_W};$$

$$a_2 = \frac{1}{\alpha_W} (Q_{CT} - Q_W)_0 \cdot \left(\frac{\partial \alpha_W}{\partial G_W} \right)_0 - \frac{C_W}{\alpha_W \cdot F_W} \left(\frac{\partial Q_W}{\partial x} \right)_0;$$

$$T_C = \frac{g_{CT} \cdot C_{CT}}{\alpha_W \cdot F_W}; \; c_1 = c_3 + 1; \; c_3 = \frac{\alpha_B \cdot F_B}{\alpha_W \cdot F_W};$$

$$c_2 = \frac{1}{\alpha_W} (Q_W - Q_{CT})_0 \left(\frac{\partial \alpha_W}{\partial G_W} \right)_0;$$

$$c_4 = \frac{F_B}{\alpha_W \cdot F_W} \left(Q_{CT} - \frac{Q_B + Q_{BH}}{2} \right) \left(\frac{\partial \alpha_B}{\partial G_B} \right)_0;$$

$$T_B = \frac{g_B \cdot C_B}{\alpha_B \cdot F_B};\ b_1 = \frac{2 \cdot C_B \cdot C_B}{\alpha_B \cdot F_B};\ b_2 = 1 + b_1;\ b_4 = -(b_1 + 1);$$

$$b_3 = \frac{2}{\alpha_B}\left[\left(Q_{CT} - \frac{Q_B + Q_{BH}}{2}\right)_0 \left(\frac{\partial \alpha_B}{\partial G_B}\right)_0 - \frac{C_B}{F_B}\left(\frac{Q_B + Q_{BH}}{2}\right)_0\right].$$

В дальнейших преобразованиях системы уравнений (11-13) избавимся от переменной $\Delta Q_{CT}(0, p)$ и выполним прямое преобразование Лапласа по пространственной координате $\frac{l}{l_2} = x$ при нулевых начальных условиях, которые определяются самой постановкой задачи. В исходном установившемся режиме отклонения параметров равны нулю.

Так как возмущающие воздействия, подаваемые на вход системы, не зависят от пространственной координаты, а расходы сред изменяются скачком, то граничные условия имеют вид [4].

$$\Delta Q_W(x, p) = \Delta Q_W(s, p);\ \Delta Q_B(0, p) = \Delta Q_B(0, p);$$

$$\Delta G_B(0, p) = \Delta G_B(0, p);\ \Delta Q_{WH}(x, p) = \Delta Q_{WH}(0, p);$$

$$\Delta G_W(0, p) = \frac{1}{S}\Delta G_W(0, p);\ \Delta Q_{BH}(0, p) = \Delta Q_{BH}(0, p);$$

$\frac{d}{dx} = S$ - оператор дифференцирования по пространственной координате.

На основании выше сказанного система уравнений (11-13) примет вид:

$$\begin{aligned}&\left[a_1 \cdot S + A(p)\right]\Delta Q_W(S, p) = a_1(p)\Delta Q_B(0, p) + a_1(p)\Delta Q_{BH}(0, p) - \\ &-a_2(p)\Delta G_B(0, p) + \frac{a_3(p)}{S}\Delta G_W(0, p) + \Delta Q_{WH}(0, p)\end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}&B(p)\Delta Q_B(0, p) = b_1(p)\Delta Q_W(S, p) + \frac{b_2(p)}{S}\Delta G_W(0, p) + \\ &+b_4(p)\Delta G_B(0, p) + b_3(p) \cdot \Delta Q_{BH}(0, p)\end{aligned} \tag{15}$$

где

$$A(p) = \left[T_W \cdot p + 1 - \frac{1}{T_C + c_1}\right];\ a_1(p) = \frac{0.5 \cdot c_3}{T_C p + c_1};\ a_2(p) = \frac{c_4}{T_C p + c_1};$$

$$a_3(p) = \frac{c_2}{T_C p + c_1} + a3;$$

$$B(p) = \left[\left(T_B p + b_2 \right) = \frac{c_3}{T_C p + c_1} \right]; \; b_1(p) = \frac{2}{T_C p + c_1}; \; b_2(p) = \frac{2 \cdot c_2}{T_C p + c_1};$$

$$b_3(p) = \frac{c_3}{T_C p + c_1} + b_4;$$

$$b_4(p) = b_3 = \frac{2 \cdot c_4}{T_C p + c_1}.$$

Систему линейных алгебраических уравнений (14), (15) относительно зависимых переменных $\Delta Q_W(S, p)$ и $\Delta Q_B(0, p)$ решаем, используя правило Крамера [7]:

$$\Delta Q_W(S, p), \; \Delta Q_B(0, p) = \frac{\Delta_{ik}}{\Delta}, \tag{16}$$

где Δ — определитель системы и Δ_{ik} — соответствующие миноры.

Миноры получим из определителя системы Δ, если элементы k-го столбца матрицы заменить возмущающими функциями i (ΔG_B, ΔG_W, ΔQ_{WH} и ΔG_{BH}).

При этом мы получим передаточные функции, которые зависят от Лаплас образа по двум координатам – временной и пространственной в виде:

$$W_1(S, p) = \frac{\Delta Q_W(S, p)}{\Delta Q_{WH}(0, p)} = \frac{B(p)}{[a_1 S + A(p)]B(p) + a_1(p) b_1(p)} \tag{17}$$

$$W_2(S, p) = \frac{\Delta Q_W(S, p)}{\Delta G_W(0, p)} = \frac{a_3(p)B(p) - a_1(p) b_2(p)}{S([a_1 S + A(p)]B(p) + a_1(p) b_1(p))} \tag{18}$$

и т.д.

В дальнейшем выполним обратное преобразование Лапласа $L^{-1}[W_i(S, p)]$ полученных передаточных функций (i =1,2,...8) в комплексной плоскости S и перейдем от изображений к оригиналу по пространственной относительной координате x.

В результате этих преобразований получим решение системы уравнений (14), (15) в области изображения по переменной t в виде передаточных функций:

$$\frac{\Delta Q_W(X, p), \Delta Q_B(0, p)}{j} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} K_{jki}(p) \cdot e^{-S_1(p)X} \tag{19}$$

где $K = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ \Delta Q_W & \Delta Q_B \end{vmatrix}$; $j = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ \Delta G_W & \Delta G_B & \Delta Q_{WH} & \Delta Q_{BH} \end{bmatrix}$; $i = \begin{vmatrix} 1 \\ S_1(p) \end{vmatrix}$.

Полученные передаточные функции приведены ниже:

$$W_1(x,p) = \frac{\Delta Q_W(x,p)}{\Delta Q_{WH}(0,p)} = \frac{1}{a_1} e^{-S_1(p)X}; \tag{20}$$

$$W_2(x,p) = \frac{\Delta Q_W(x,p)}{\Delta G_W(0,p)} = -\frac{[a_3(p)B(p) - a_1(p)b_2(p)]}{A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{21}$$

$$W_3(x,p) = \frac{\Delta Q_W(x,p)}{\Delta G_B(0,p)} = -\frac{[B(p)a_2(p) - a_1(p)b_4(p)]}{a_1 B(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{22}$$

$$W_4(x,p) = \frac{\Delta Q_W(x,p)}{\Delta Q_{BH}(0,p)} = \frac{a_1(p)[B(p) - b_3(p)]}{a_1 B(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{23}$$

$$W_5(x,p) = \frac{\Delta Q_B(0,p)}{\Delta Q_{BH}(0,p)} = \frac{-a_1(p)b_1(p)(b_3(p) + B(p))}{a_1 B^2(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{24}$$

$$W_6(x,p) = \frac{\Delta Q_B(0,p)}{\Delta Q_{WH}(0,p)} = \frac{-b_1(p)}{a_1 B(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{25}$$

$$W_7(x,p) = \frac{\Delta Q_B(0,p)}{\Delta G_W(0,p)} = \frac{\left[\dfrac{(A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p))}{B(p)}\right] b_2(p)}{A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p)} + \frac{a_3(p)b_3(p)}{A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p)} e^{-S_1(p)X}; \tag{26}$$

$$W_8(x,p) = \frac{\Delta Q_B(0,p)}{\Delta G_B(0,p)} = \frac{\left[-(A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p))\right] b_4(p)}{a_1(p)B^2(p)} + \frac{a_2(p)b_1(p)}{a_1(p)B^2(p)} e^{-S_1(p)X}, \tag{27}$$

где $S_1(p) = \dfrac{A(p)B(p) + a_1(p)b_1(p)}{a_1 B(p)}$.

Для расчета коэффициентов, которые входят в данные функций необходимо:

1. Определить производные $\left(\dfrac{\partial \alpha_B}{\partial G_B}\right)_0$ и $\left(\dfrac{\partial \alpha_W}{\partial G_W}\right)_0$ относительно установившегося режима (0). Их можно найти графически, построив зависимости $\alpha_B = f(G_B)$ и $\alpha_W = f(G_W)$ или аналитически из выражений $\alpha_B = K \cdot G_B^n$ и $\alpha_W = K \cdot G_W^m$.

Взяв производные от степенной функции получим, что:

$$\left(\frac{\partial \alpha_B}{\partial G_B}\right)_0 = \frac{n\alpha_{B0}}{G_{B0}} \text{ и } \left(\frac{\partial \alpha_W}{\partial G_W}\right)_0 = \frac{m\alpha_{W0}}{G_{W0}}.$$

2. Определить величины $\left(\frac{\partial Q_W}{\partial x}\right)_0$; $\left(\frac{Q_B + Q_{BH}}{2}\right)_0$ а также $(Q_{CT} - Q_W)_0$ в установившемся режиме. Для расчета Q_W, Q_B и Q_{CT} можно воспользоваться любой методикой теплотехнического расчета теплообменной аппаратуры для номинального (расчетного) режима.

Но так как для ОНВ конвективный теплообмен не зависит от температур, то модель инвариантна относительно температур на входе (т.е. линейна в малом и большом). Поэтому можно записать:

$$Q_{WO} = \frac{\Delta Q_W(x,0)}{\Delta Q_{WH}(0)} Q_{WHO} + \frac{\Delta Q_W(x,0)}{\Delta Q_{BH}(0)} Q_{BHO}; \tag{28}$$

$$Q_{BO} = \frac{\Delta Q_B(0,0)}{\Delta Q_{WH}(0)} Q_{WHO} + \frac{\Delta Q_B(0,0)}{\partial Q_{BH}(0)} Q_{BHO}, \tag{29}$$

т.е. подставив в передаточных функциях (20), (23), (24), (25) $p = 0$ из выражений (28) и (29) найдем требуемые значения Q_{WO} и Q_{BO}.

Для расчета $\left(\frac{\partial Q_W}{\partial x}\right)_0$ можно воспользоваться выражением (28) продифференцировав Q_{WO} по пространственной относительной координате x. Однако такая процедура сложна — проще определить из уравнения (7), для установившегося режима:

$$\frac{\partial Q_{W0}}{\partial x} = \frac{1}{a_1}(Q_{CT} - Q_W)_0. \tag{30}$$

При этом Q_{CTO} определим из выражения (31), которое получается из решения исходной системы уравнений относительно переменной Q_{CT}.

$$Q_{CTO} = \frac{1}{a_1\left(c_1 - \frac{c_3}{b_2}\right)} \times$$

$$\times \left[Q_{WHO} + \left(\left[1 - \left(\frac{c_1 - \frac{c_3}{b_2} + 1}{c_1 - \frac{c_3}{b_2}} \right) \right] \cdot \left[0.5 \cdot c_3 \left(\frac{b_4}{b_2} + 1 \right) \right] \right) \cdot Q_{BHO} \right] \cdot e^{-\left[\frac{c_1 - \frac{c_3}{b_2} - 1}{a_1 (c_1 - \frac{c_3}{b_2}} \right]}. \tag{31}$$

Для исследования динамических режимов работы ОНВ для построения переходных процессов, требуется выполнение обратного преобразования Лапласа по координате времени, что неизбежно приведет к специальным функциям, аналитическое решение которых затруднительно. Поэтому гораздо проще поступить следующим образом [4].

Учитывая общность между преобразованиями Лапласа и Фурье, используем методы частотного анализа, которые позволяют получить точное решение трансцендентных передаточных функций (21)-(27) не прибегая к специальным функциям или их аппроксимации.

Для этого в функциях (21)-(27) выполним подстановку $p = j\omega$, которая позволит получить вещественные и мнимые частотные характеристики системы по каждому каналу в виде:

$$\frac{Q_K(x, j\omega)}{F_n(j\omega)} = \sum_{j=1}^{n} K_{jk}(j\omega) \cdot e^{-Si(j\omega)x} = \mathrm{Re}(x, \omega) + j\,\mathrm{Im}(x, \omega).$$

Связь между вещественной и мнимой частотными характеристиками и переходными процессами ($Q_{W,B}(x, t)$ — оригинал функции) ОНВ, если передаточные функции характеризуются только регулярной частью, можно записать в виде [8]:

$$Q(x, t) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} P(x, \omega)\frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega; \tag{32}$$

$$Q(x, t) = P(x, 0) + \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} Q(x, \omega)\frac{\cos \omega t}{\omega} d\omega, \tag{33}$$

где $P(x, \omega)$ и $Q(x, \omega)$ — вещественная и мнимая частотные характеристики; $P(x, 0)$ — вещественная частотная характеристика при $\omega = 0$.

Для нулевых начальных условий и возмущений в виде единичного воздействия $F_n(t) = 1(t)$;

$P(x, \omega) = \mathrm{Re}(x, \omega)$; $Q(x, \omega) = \mathrm{Im}(x, \omega)$.

Для нулевых начальных условий и возмущающих воздействий, отличных от единичной функции:

$$P(x, \omega) = \mathrm{Re}(x, \omega) = \mathrm{Re}(x, \omega)\,\mathrm{Re}_F(\omega) - \mathrm{Im}(x, \omega)\,\mathrm{Im}_{Fn}(\omega);$$

$$Q(x, \omega) = I(x, \omega) = \mathrm{Re}(x, \omega)\,\mathrm{Im}_{Fn}(\omega) - \mathrm{Im}(x, \omega)\,\mathrm{Re}_{Fn}(\omega).$$

Выводы.

Полученные передаточные функции позволяют исследовать статические и динамические режимы работы ОНВ, как объекта управления, применить их для анализа и синтеза систем автоматического регулирования температуры наддувочного воздуха, а также определить насколь-

ко можно понизить температуру наддувочного воздуха с целью увеличения коэффициента избытка воздуха при использовании промежуточного хладоносителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпакчи Э.И., Коханский А.И. Использование двухконтурного охладителя наддува для уменьшения теплонапряженности дизелей в условиях мелководья // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2005. – Вып. 14. – Одесса: ОНМА. – С. 11-20.
2. Корольков Б.П. Специальные функции для исследования динамики нестационарного теплообмена. – М.: Наука, 1976. – 168 с.
3. Хрипун Ю.Н. Аналитическое определение передаточных функций охладителя наддувочного воздуха дизелей. – М: Мортехинформреклама, 1988. – С. 120-115.
4. Чумак И.Г., Коханский А.И. Динамические режимы работы холодильных установок и аппаратов. – М: Машиностроение, 1978. – 190 с.
5. Heideman P.A., Нискава С.Е., Eisen F.S., Weissman L.I., Gallating G.M. Dynamics of convection heat exchangers. // Can. I. Chem. Eng. – 1971. – № 21. – С. 147-153.
6. Крючков А.Д. Автоматизация установок разделения газов методом глубокого охлаждения. – Л.: Химия, 1973. – 295 с.
7. Гарднер М.Ф., Барнс Дж.Л. Переходные процессы в линейных системах. – М: Физматиз, 1961. – 547 с.
8. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М: Машиностроение, 1973. – 604 с.

УДК 621.896

Кардаш В.П., Ханмамедов С.А.
ОНМА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ УСТРОЙСТВ

На развитие судоходства, как отрасли, в последние годы оказывают, с одной стороны, влияние решения направленные на охрану окружающей среды, при этом возросли требования к организации процессов, связанных с погрузкой и выгрузкой грузов, и обеспечению их сохранной и безопасной перевозки, с другой — мировой рынок требует жесткой экономии энергетических и материальных ресурсов.

В этих условиях развития отрасли конструкции судовые устройства (СУ) претерпели существенные изменения. Они во многом обеспечивают надежную и эффективную эксплуатацию морских судов, а также безопасность находящихся на борту людей и грузов. К функциям СУ относятся: управление движением судна, его удержание в заданном районе акватории или у причальной стенки, обеспечение буксировки, грузовых и спасательных операций.

В работах [1-5] показано, что наибольшее распространение получили СУ со следующими системами передач энергии от дизель-генератора к исполнительному механизму: электрические, гидравлические, комбинированные. Установленная мощность механизмов современных СУ соизмерима с мощностью главного двигателя.

Затраты на организацию эксплуатации СУ в составе судовых энергетических установок достигают 20-30 % общесудовых расходов.

На рис. 1 приведены схемы СУ, получивших наибольшее распространение на современных судах. Как видно из рис. 1, для реализации функционального назначения в СУ происходит последовательное преобразование энергии от тепловой с промежуточными преобразованиями в электрическую, гидравлическую, до механической в исполнительных механизмах (ИМ).

Последнее преобразование энергии в исполнительном механизме осуществляется в механическую энергию, которая характеризуется заданным значением тягового усилия. Под действием этого усилия совершается полезная работа СУ, которая и обуславливает выполнение функциональных свойств данного СУ. Дальнейшее преобразование механической энергии, освобожденной в СУ, идет следующим образом: часть идет на изменение потенциальной энергии, которая может быть накоплена в элементах СУ или возвращена в судовую сеть, другая в результате триботехнических преобразований превращается, в конечном итоге в тепловую, которая необратимо сбрасывается в окружающую среду.

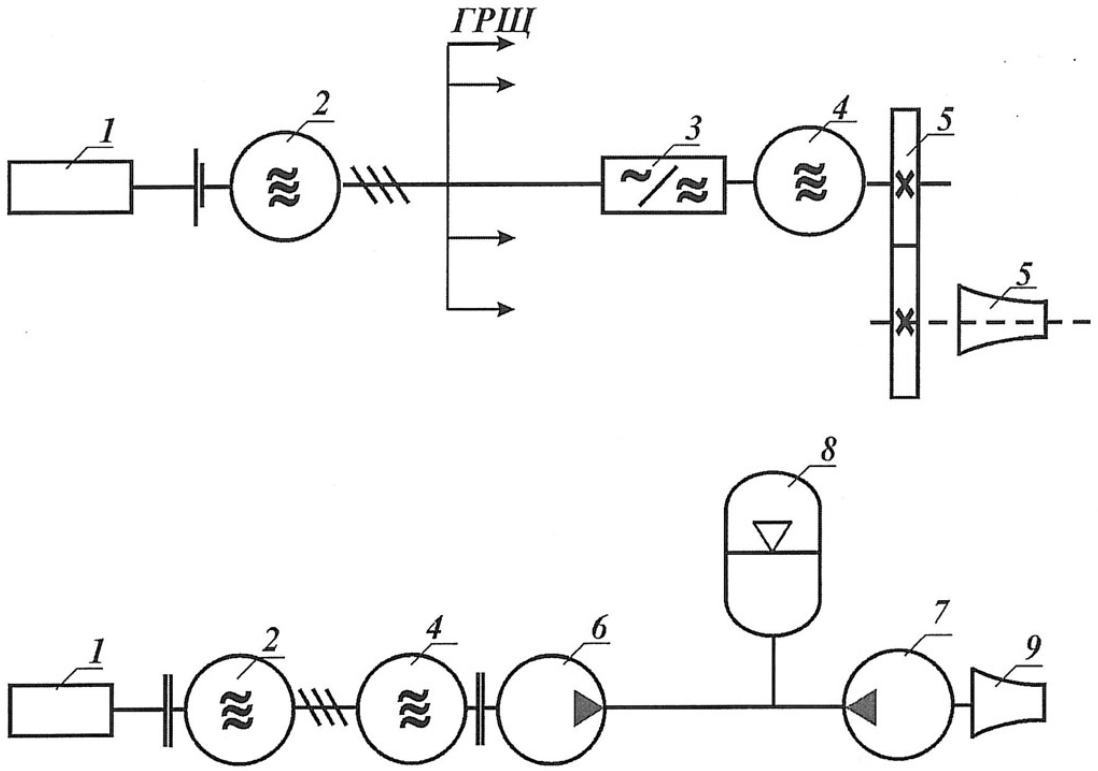


Рис. 1. Типовые схемы СУ, получившие наибольшее распространение на транспортных судах: 1 — дизель-генератор; 2 — электрический синхронный генератор; 3 — преобразователь частоты; 4 — асинхронный электрический двигатель; 5 —редуктор; выходной элемент ИМ; 6 — гидравлический насос; 7 — гидравлический мотор; 8 — гидравлический аккумулятор; 9 — исполнительный механизм СУ.

Анализ назначений СУ [1-5] показывает, что функции, для которых они предназначены, формируются и реализуются исполнительным механизмом (ИМ). Усилие, которое реализует ИМ СУ, предназначено для перемещения в гравитационном поле земли выходного элемента ИМ в потоке жидкости или газа. Величина этого усилия, изменяется во времени, носит, как правило, циклический характер и изменяется как по абсолютной величине, так и по направлению действия.

Поэтому, разработка способов управления работой СУ, направленных на сокращение расхода топлива и эксплуатационных затрат является актуальным исследованием.

Настоящая работа посвящена анализу режимов работы СУ, выбору режимов работы СУ направленных на снижение энергетических и материальных затрат на их эксплуатацию. Решение данной задачи рассмотрим на примере СУ

На рис. 2 представлены характерные зависимости, которые реализуются в ИМ различных СУ.

На рис. 2. приведены четыре наиболее характерные зависимости выходных усилий формируемых ИМ СУ.

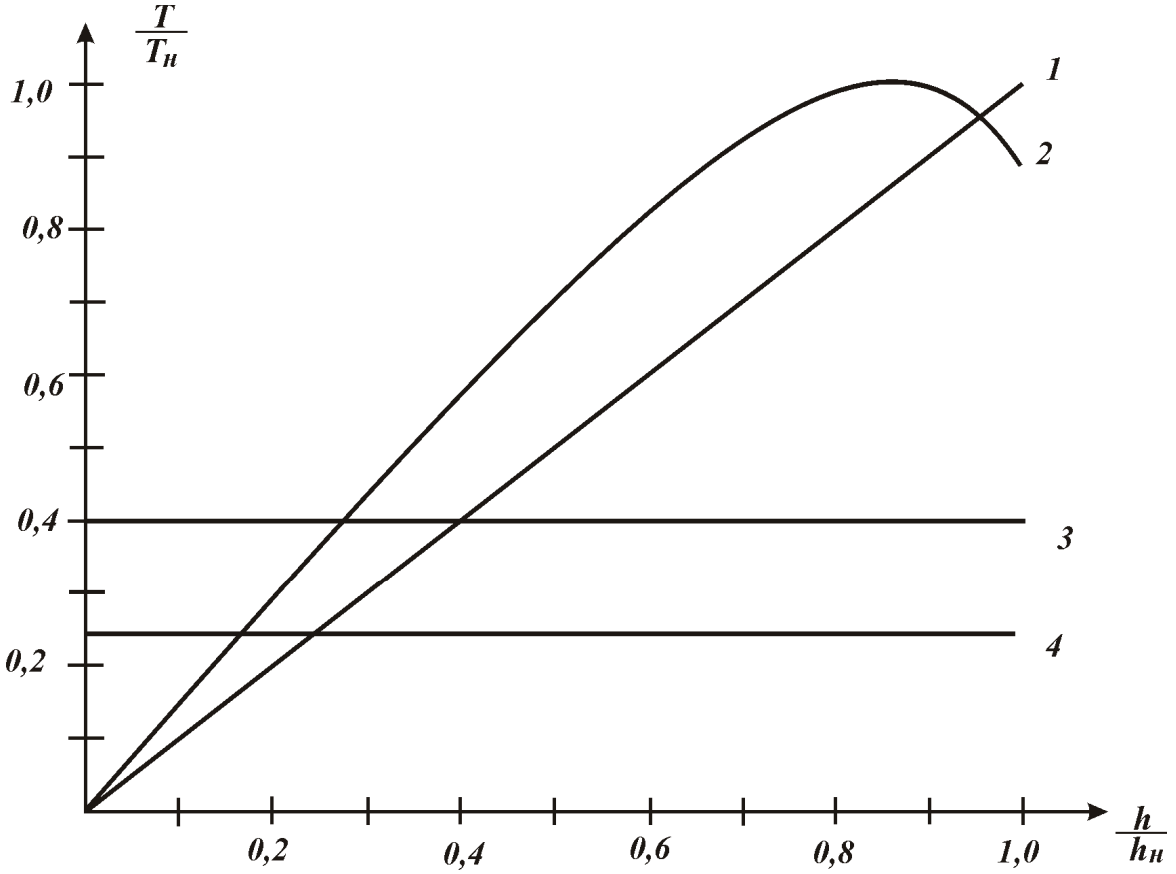


Рис. 2. Характерные зависимости выходных усилий реализуемых различными ИМ СУ: 1 — $T=mgh$ — зависимость характерная для судовых устройств предназначенных для перемещения h в гравитационном поле земли груза массой m; 2 — $T=ch^m$ — зависимость характерная для ИМ, осуществляющих перемещение выходного элемента в потоке жидкости или газа, коэффициенты c и m зависят от физико-механических характеристик жидкости или газа и скорости их движения; 3 — $T=N$ — зависимость характерная для ИМ, у которых величина выходного усилия не зависит от координаты перемещения выходного элемента и зависит только от величины нагрузки N; 4 — $T=T_0$ — усилие необходимое для совершения холостого хода и преодоления потерь на трение

Механическая работа, которая совершается ИМ, может быть определена с использованием зависимости $T = f(h)$, где T — усилие которое развивает ИМ, h — перемещение выходного элемента ИМ. Таким образом, можно получить обобщенное уравнение для определения величины усилия на выходном элементе ИМ СУ в следующем виде:

$$T = ch^n + T_o .$$

Для случая если $T = const$

$$A = Th\cos\alpha , \qquad (1)$$

где α — угол между направлением действия выходного усилия и направлением перемещения.

В общем случае работа может быть определена:

$$A = \int_{h_1}^{h_2} T dh \sin\alpha . \qquad (2)$$

Анализ уравнений (1) и (2) показывает, что в случае несовпадения направления перемещения с направлением действия усилия значение величины работы становится отрицательным, и это указывает на тот факт, что ИМ СУ становится источником получения механической энергии. Таким образом, для СУ характерными являются два режима работы: первый режим — потребления энергии и второй — режим генерирования механической энергии, которая может быть при определенных условиях возвращена в судовую сеть.

Рассмотрим формирование выходного усилия в ИМ на примере таких СУ как якорное и рулевое устройства.

В составе якорных устройств используют брашпили, шпили (полубрашпили) якорные или якорно-швартовные шпили и якорно-швартовные лебедки. Определяющим для выбора характеристики выходного усилия на ИМ якорного устройства является режим его работы при снятии судна с якоря [2, 3]. Характеристика выходного усилия, формирующаяся на звездочке якорного устройства приведена на рис. 3.

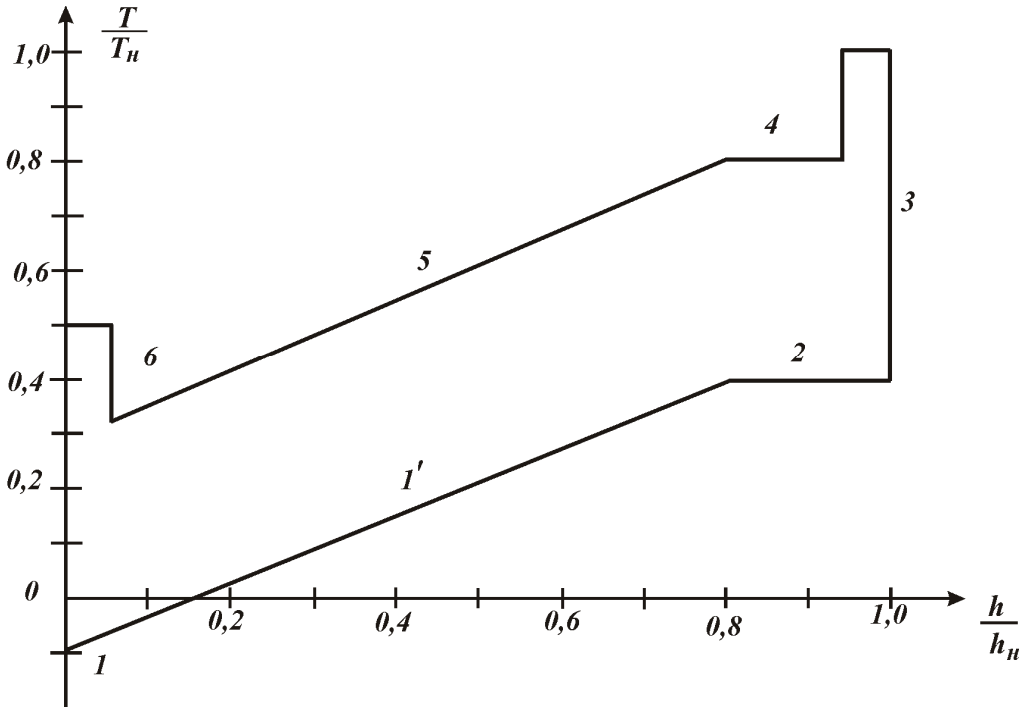


Рис. 3. Характеристика усилия на звездочке якорного устройства при снятии судна с якоря: 1 — силовая отдача якоря за счет энергии СУ (нештатный режим); 1’ — отдача якоря под действием силы тяжести свободно висящего якоря и якорь цепи; 2 — травление якорного каната, когда якорь и часть цепи лежит на грунте; 3 – подъем якорной цепи; 3* — отрыв якоря от грунта; 4 — выбирание якорной цепи, когда ее часть лежит на грунте; 5 — выбирание свободно висящей якорной цепи; 6 — втягивание якорного каната в клюз

Как видно из рис. 3, характеристика усилия на ИМ якорного устройства носит сложный характер. Для удобства анализа зависимости, она построена в относительных единицах. На осях зависимости представлены отношения усилия к номинальному тяговому усилию брашпиля $T_н$ и соответственно максимальной длине якорной цепи $h_н$.

При определении механической значений работы, соответствующей участкам характеристики 3*-4-5-6, согласно зависимости (1-2), получается ее положительное значение, что соответствует режиму работы потребления энергии из судовой сети, на участке же 1*-2-3 механизм работает в генераторном режиме, т.е. при соответствующих условиях возможен возврат части энергии в судовую сеть. Такая зависимость является характерной для всех СУ, выходное усилие ИМ которых предназначено для перемещения якоря (груза) в гравитационном поле земли. Такую характеристику имеют аппарели, краны, люковые закрытия.

Рассмотрим далее характеристику СУ, ИМ которого работает в потоке жидкости, а именно рулевое устройство. В качестве примера, рассмотрим рулевое устройство, состоящее из: гидравлической рулевой машины и простого прямого руля за рудерпостом. На рис. 4. приведена выходная характеристика рулевого устройства в виде момента на баллере рулевого устройства от относительного угла поворота пера руля $\frac{\alpha_i}{\alpha_{35}}$ где α_i — текущее абсолютное значение угла поворота пера руля, α_{35} — максимальный угол поворота пера руля.

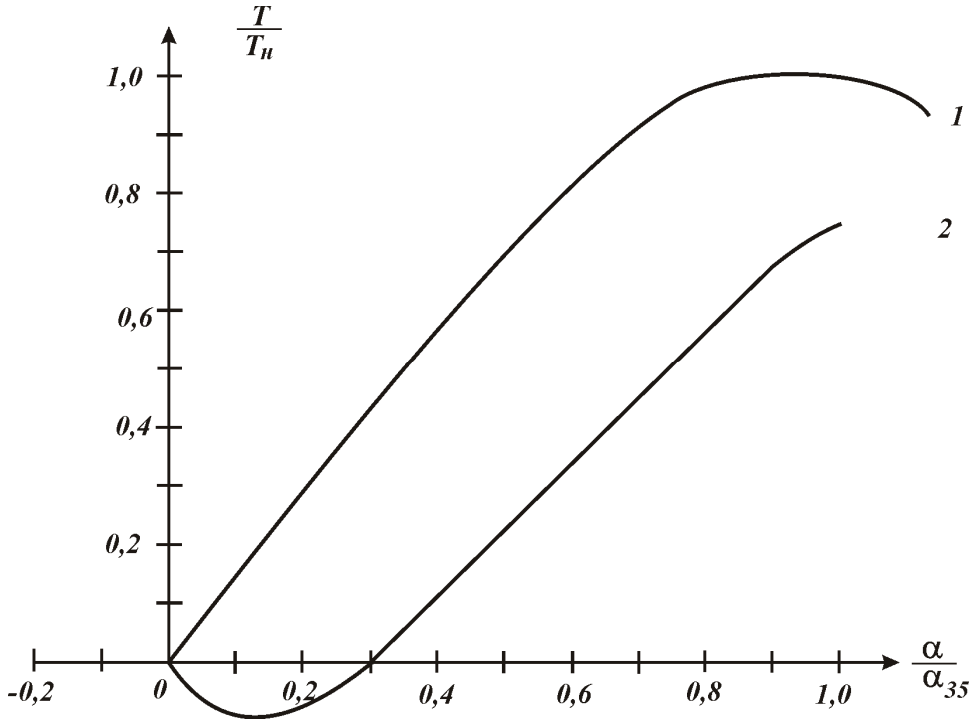


Рис. 4. Зависимость момента на баллере руля от угла поворота пера руля

Как видно из рис. 4, зависимость выходного усилия от угла поворота носит сложный характер и повторяет зависимость рис. 3. Однако следует отметить, что при перекладке руля на борт и возвращении руля в ДП рулевое устройство, при движении руля от ДП работает в режиме потребления механической энергии, при возвращении руля к ДП рулевое устройство переходит в генераторный режим. В настоящее время энергия, высвобождаемая в этом движении, рассеивается и превращается в тепловую. Таким образом, при разработке рулевых машин следующего поколения возможно предусмотреть схемное решение, позволяющее возврат энергии в виде гидравлической — в аккумулятор либо в электрическую сеть в виде электрической.

Таким образом, выполненный анализ выходных характеристик ИМ СУ позволяет создать обобщенную характеристику ИМ СУ. На рис. 5 приведена обобщенная зависимость выходного усилия на ИМ СУ.

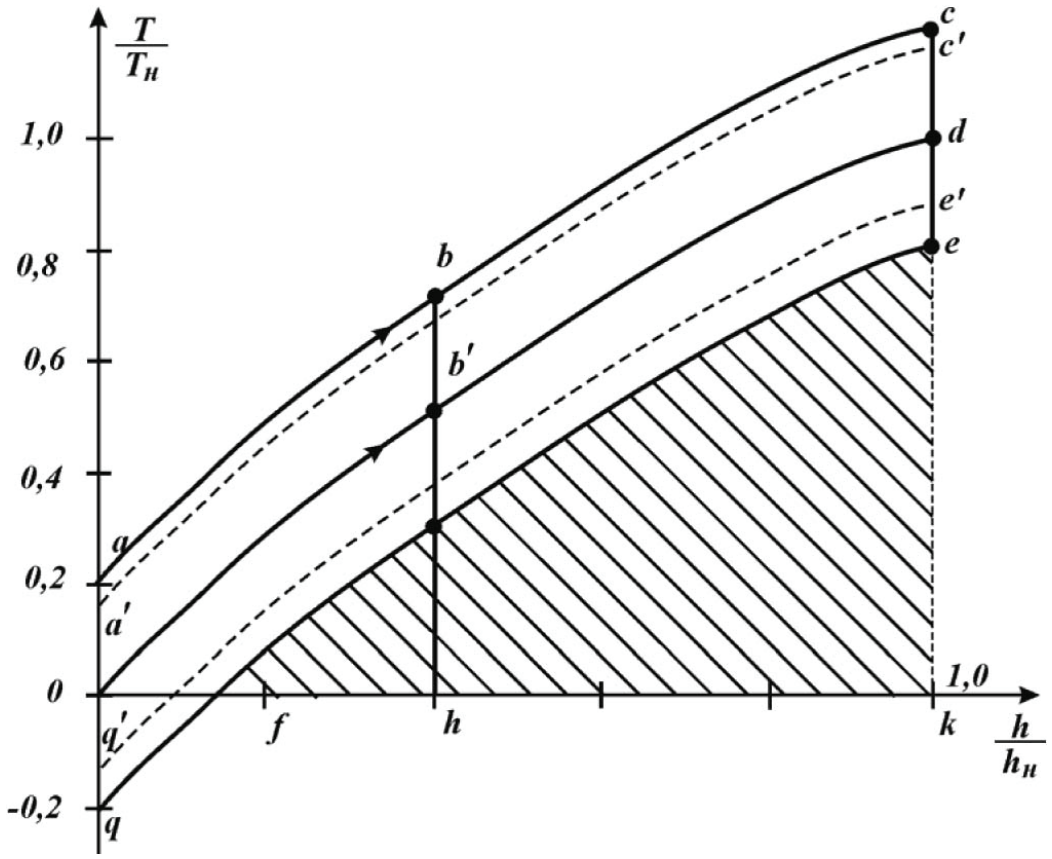


Рис. 5. Нагрузочная диаграмма обобщенного судового устройства

На рис. 5:

- S_{fek} — площадь диаграммы пропорциональная теоретически возможной энергии, которая может быть возвращена в судовую гидравлическую или электрическую сети.
- S_{qabcef} — площадь диаграммы, пропорциональная необратимым потерям на трение.

- $S_{a'b'c'e'q'}$ — площадь диаграммы, пропорциональная потерям на трение для случая, когда применены технологии снижения энергетических потерь на трение [6].

$\eta = \dfrac{T - T_0}{T} = \dfrac{hb'}{hd}$ — отношение, равное по абсолютной величине КПД судового устройства при работе в режиме потребления энергии.

$2T_0 = ce$ — величина, пропорциональная удвоенной относительной силы трения, которая может быть определена штатным прибором, контролирующим давление гидронасоса или потребляемую электрическую мощность приводным электродвигателем при выполнении СУ замкнутого цикла и переходе работы СУ из режима потребления энергии в генераторный режим. Таким образом, можно получить значение КПД СУ, используя результаты простых измерений параметров, характеризующих работу СУ при выполнении им рабочего цикла:

$$\eta = \frac{T - T_0}{T} = 1 - \frac{T_0}{T} = 1 - \frac{ce}{2hb}.$$

Последняя формула позволяет по результатам измерений, используя штатные приборы, измерять КПД СУ. Как видно из этой формулы, КПД СУ в значительной степени зависит от величины непроизводительной силы трения, развивающейся в СУ. Величина силы трения может быть снижена [6] за счет применения современных технологий управления процессами трения на рабочих поверхностях деталей СУ.

Выводы.

Предложено решение задачи повышения эффективности работы СУ путем повышения КПД за счет снижения энергетических потерь на трение в исполнительном механизме и частичной рекуперации энергии в судовую сеть при работе СУ в генераторном режиме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Судовые устройства: Справочник. / Под ред. М.Н. Александрова – Л.: Судостроение, 1987. – 653 с.
2. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы. – Л.: Судостроение, 1980. – 237 с.
3. Юхнин Е.И. Якорно-швартовное и буксирное устройства. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 357 с.
4. Справочник по судовым устройствам. / Под ред. А.Н. Гуровича. – Л.: Судостроение, 1975. – 358 с.
5. Шмаков М.Г. Судовые устройства. – М.: Транспорт, 1977. – 420 с.

6. Кардаш В.П., Ханмамедов С.А. Повышение надежности исполнительных механизмов судовых устройств // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2006. – Вып. 17. – Одесса: ОНМА. – С. 98-101.

УДК 629.5.051.5(045)

Варбанец А.Н., Версаль А.Ф. Александровская Н.И.
ОНМА, Морское бюро Регистра, ОНМУ

НОВЫЙ ПОДХОД К АДАПТИВНОМУ АВТОРУЛЕВОМУ

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами. Важность и значение авторулевых в навигационной практике в настоящее время не требует доказательств. Методы оптимизации управлением движения судна по курсу предусматривают настройку и поддержание регулируемых параметров авторулевого в соответствии с меняющимися условиями. Известно, что динамические свойства судна зависят от характеристик самого судна, от его загрузки, скорости движения, от глубины водоема, когда судно у побережий, и от погодных условий, таких как скорость, волнение и т.д. В обычных авторулевых, судоводитель должен постоянно настраивать регулировочные уставки ПИД-регулятора, чтобы получить оптимальное управление при изменении динамических характеристик судна. Степень оптимизации настройки зависит от субъективных факторов, таких как знания и опыт судоводителя, его понимание ситуации, его психологическое состояния и др. В результате может увеличиваться рыскание судна или, наоборот, будут значительные отклонения от курса. И то и другое влечет перерасход времени и топлива при прохождении судном определенного расстояния по линии заданного пути. Проблема состоит в создании адаптивных авторулевых, которые для достижения оптимального сохранения курса в результате использования определенной математической модели будут автоматически изменять движение судна в соответствии с меняющимися условиями.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Адаптивными называют авторулевые, которые самостоятельно меняют характер управляющих воздействий, приспосабливаясь к изменению внешних и внутренних условий работы системы для обеспечения высокого качества регулирования.

Адаптивные авторулевые появились в 80-х годах [1]. Они улучшали управляемость судна и оказались особенно эффективными при движении на мелководье и в стесненных условиях плавания.

Известен метод оптимального управления движением судна по курсу самонастройкой, когда неизвестные функции определяются в процессе управления объектами по ним и система управления настраивается на оптимальный режим. Например, адаптивная система управления курсом типа TS [1] польского производства. При изменении параметров

судна и характеристик внешних воздействий она самостоятельно без участия человека изменяет параметры авторулевого, обеспечивая минимальные амплитуды рыскания. Для этого в систему управления включают контур самонастройки. В нем логически перерабатывается информация об изменяющихся условиях работы и передается на основной контур управления. В качестве критерия для самонастройки используется угол отклонения от курса *a*. Очевидно, что для уменьшения амплитуды рыскания судна необходимо большее управляющее воздействие руля. Но чем больше углы перекладки, тем больше потери скорости от управляющего воздействия руля на судно. В связи с этим недостаток этого авторулевого заключается в том, что он не может определить скорость судна в направлении заданного курса. То есть он не позволяет объективно судить о качестве управления по экономическому критерию.

Адаптивные системы разделяются на самонастраивающиеся, самоорганизующиеся и самообучающиеся [2]. Самонастраивающиеся системы — это системы с параметрической адаптацией. Оптимальный режим работы в них обеспечивается за счет изменения коэффициентов закона регулирования. Сам алгоритм регулирования остается неизменным. В самоорганизующихся системах адаптация производится за счет изменения как вида закона управления (структурной схемы регулятора), так и коэффициентов этих законов. Самоорганизующиеся системы называются еще системами со структурной адаптацией. Самообучающиеся системы при обеспечении наилучшего качества управления совершенствуют свою структуру на основе опыта функционирования. Это наиболее сложные, но в тоже время гибкие автоматические системы. Самонастраивающиеся и самоорганизующиеся системы можно рассматривать как частный случай самообучающиеся систем .

Благодаря алгоритму управления, который формирует адаптивную управляющую систему в виде математической модели, выполняются нужные регулировки PID-регулятора так, чтобы выход физической управляемой системы совпадал с выходом математической модели. В тоже время этот алгоритм оценивает по поведению судна динамические характеристики корпуса судна, закладывая коррективы и математическую модель следующего такта.

В [3] описывается использование в авторулевых фильтра Кальмана. Модуль оптимального управления состоит из двух звеньев. Первое звено обрабатывает данные системы MRACS (Model Reference Adaptive Control System), осуществляя оценку динамики судна, и данные по скорости судна. Эти данные поступают во второе звено, в котором в совокупности с данными фильтра Кальмана, а именно, отклонения от

заданного курса и скорости поворота судна, рассчитывается оптимальный угол перекладки руля. Значение этого угла сравнивается с сигналом обратной связи, и результат сравнения поступает на сервоусилитель руля.

При удержании руля на заданном курсе авторулевой реализует два вида управления. В первом случае решаются критерии экономичной работы рулевой машины, что допускает некоторое рыскание судна в открытом море, не прибегая к большим углам перекладки руля. Во втором случае движение судна удерживается точно на заданном курсе, даже если необходимы большие и частые перекладки руля [4, 5].

Блок оптимизации рассчитывает в обоих случаях оптимальный режим работы рулевой машины судна и отклонения судна, а выход подключён к блоку адаптации.

Недостатками методов остаются излишние рыскания судна и (или) большие временные затраты и затраты энергии. Таким образом, несмотря на значительные достижения в создании адаптивных авторулевых разработка новых методов и наиболее оптимальных решений остается актуальной.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). В настоящей статье предлагается другой подход к выбору критерия оптимизации управления авторулевым и удержания судна на выбранном курсе. Целью предлагаемой статьи является рассмотрение метода точного определения и настройки оптимальных значений, варьируемых параметров авторулевого, а так же исключение субъективного фактора из процесса управления движением судна по курсу.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Указанная цель, достигается техническим решением, представляющим собой новый способ оптимизации управления курсом с применением устройства определенной новой конструкции. Новизной метода является то, что в устройство оценки процесса вводят наряду с сигналом от гирокомпаса, пропорциональным углу отклонения судна от курса, сигнал от лага, пропорциональный скорости судна, и определяют проекцию скорости судна на заданный курс. Проекция скорости рассчитывается как

$$V\cos\Delta\alpha,$$

где V — скорость судна, а $\Delta\alpha$ — отклонение судна от курса.

Максимум проекции скорости судна на заданный курс является общим и абсолютным экономическим критерием оптимальности качества управления. Метод включает автоматическое определение и настройку оптимальных значений коэффициентов передач регулируемых параметров авторулевого.

Для автоматической настройки авторулевой должен иметь блок адаптации, представляющий собой экстремальный регулятор, который в зависимости от характера изменений отклонений от курса изменяет зону нечувствительности схемы τ (рис. 1) и крутизну сигнала, пропорционального скорости поворота судна (коэффициент усиления — k) путем воздействия на характеристики усилителей сигнала ошибки курса и сигнала угловой скорости. Адаптация к изменившимся условиям плавания занимает примерно 10 мин. После этого система обеспечивает минимально возможные для данного судна амплитуды рыскания. При этом предполагается, что чем меньше амплитуда рыскания, тем меньше времени и топлива необходимо для прохождения судном расстояния по линии заданного пути.

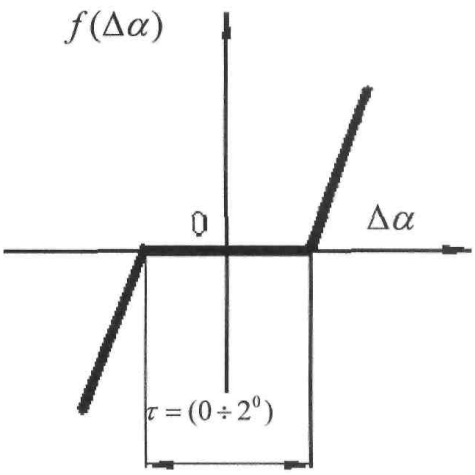


Рис. 1. Зона нечувствительности системы

Но очевидно и другое, что для уменьшения амплитуды рыскания необходимо большее управляющее воздействие руля. И чем больше углы перекладки руля, тем больше потери скорости от управляющего воздействия руля на судно.

Объективно судить о качестве управления позволяет критерий

$$\int_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} V(t)\cos\Delta\alpha(t)\,dt = \max,$$

где $V(t)$ — скорость судна в момент времени t, $\Delta\alpha(t)$ — угол между вектором скорости и заданной траекторией движения в момент времени t. Максимальное значение предполагается не меньшим 2/3 скорости по курсу и соответственно вырабатывается коэффициент k по скорости ухода судна с курса и, как первая производная, рассчитывается время T, необходимое для разворота судна (рис. 2).

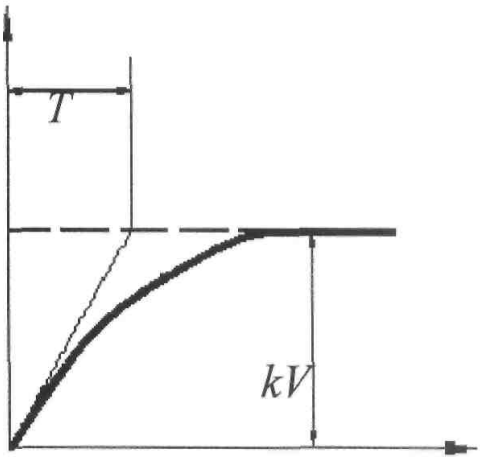


Рис. 2. Изменения выходного напряжения дифференциального усилителя производной по скорости ухода судна с курса

Предложенный адаптивный авторулевой наиболее полно приближает качество управления к оптимальному по экономическому критерию, т.е. снижение удельных затрат топлива и повышение экс-

плуатационной скорости судна путем автоматической настройки авторулевого при помощи автономных средств.

В авторулевой введено устройство вычисления проекции скорости судна на заданный курс, которое включает блок вычисления функции косинуса угла отклонения от курса, блок перемножения, инвертор. В качестве входных величин устройства вычисления проекции скорости судна на заданный курс используются сигналы от гирокомпаса и лага, а выход устройства соединен с входом экстремального регулятора.

На рис. 3 представлена блок-схема адаптивного авторулевого. Авторулевой содержит: элемент сравнения 1; регулятор курса с усилителем 2, интегратором 3, дифференциатором 4, формирующими соответственно пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие закона управления (ПИД); сумматор ПИД составляющих 5; усилитель с зоной нечувствительности 6; исполнительный механизм 7; внутреннюю обратную связь по рулю 8; гидродинамическое звено судно-руль-вода 9; экстремальный регулятор 10; устройство вычисления проекции скорости судна на заданный курс, состоящее из блока формирования функции косинуса от угла отклонения курса 11; блока перемножения 12 и инвертора 13.

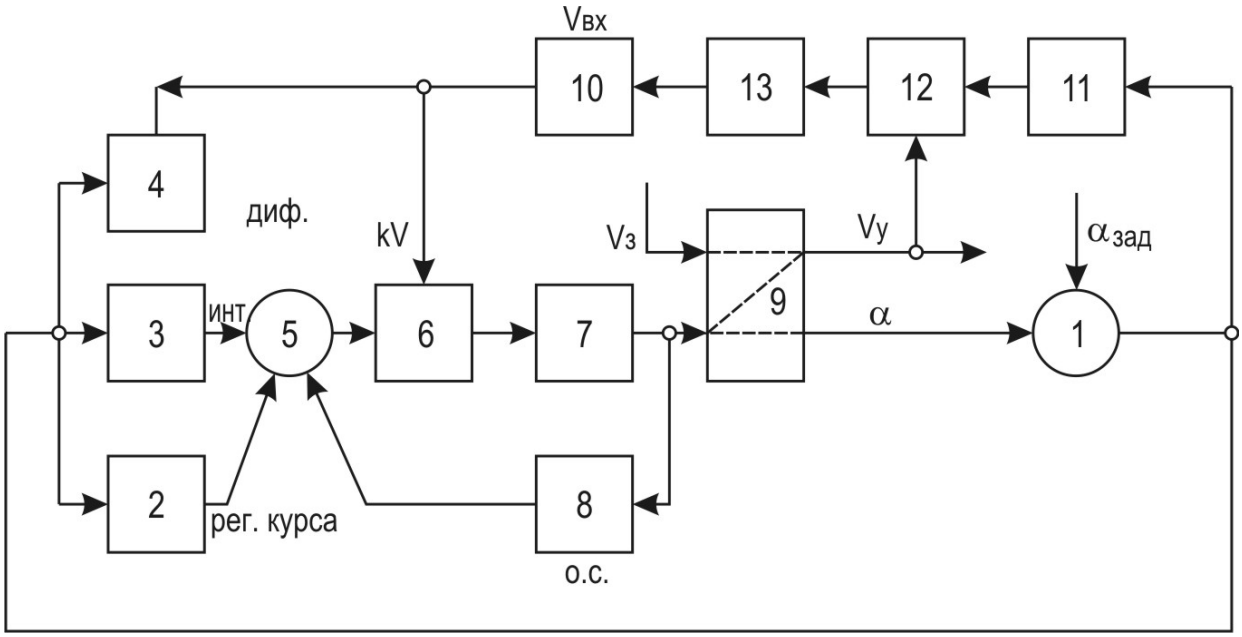


Рис. 3. Блок-схема адаптивного авторулевого

При движении судна элемент сравнения вырабатывает сигнал рассогласования $\Delta\alpha$ между заданным $\alpha_{зад}$ и действительным α курсом. На входе сумматора 5 возникают сигналы, формируемые усилителем 2, интегратором 3, дифференциатором 4. Одновременно на вход сумматора 5 поступает сигнал внутренней обратной связи по рулю 8. Алгебраическая сумма этих четырех сигналов усиливается в усилителе 6, имею-

щем зону нечувствительности τ. Сигнал, полученный на выходе усилителя 6, включает исполнительный механизм 7, приводящий в действие рулевое устройство.

Кроме регулятора, сигнал рассогласования по курсу поступает на вход блока формирования функции косинуса от угла отклонения курса 11. Сигнал, полученный на выходе блока 11, пропорциональный $\cos\Delta\alpha$, поступает на вход блока перемножения 12. На другой вход блока перемножения 12 поступает сигнал от датчика скорости (лага), пропорциональный скорости судна. На выходе блока 12 получается сигнал, определяемый выражением

$$V(t)\cos\Delta\alpha(t).$$

Инвертор 13 реализует функцию $y = 1 - x$. Он необходим для согласования работы экстремального регулятора и авторулевого по новому критерию, т.к. экстремальный регулятор авторулевого - прототипа настраивал систему на минимальное значение сигнала ошибки по курсу, а предлагаемый авторулевой настраивается на максимальное значение сигнала, получаемого в блоке 12. Экстремальный регулятор 10, получая с инвертора 13 информацию о величине разности скоростей движения судна по курсу и в фактическом направлении, т.е. величину $V(t) - V(t)\cos\Delta\alpha(t)$, усредняет ее на скользящем интервале $2\Delta t$, примерно воздействует на усилитель 6 и дифференциатор 4, изменяя зону нечувствительности τ и постоянную времени T до тех пор и в ту сторону, пока не будет выполнено условие: максимальная величина проекции вектора скорости на вектор заданного курса. На рисунке буквами $V_з$ обозначена заданная скорость судна; V — выражает сигнал, пропорциональный скорости поворота судна, снимаемый с выхода следящей системы гирокомпаса, а $V_у$ является сигналом, помноженным на коэффициент k усилителя 9.

Способ оптимизации управления курсом содержит устройство оценки процесса, экстремальный регулятор и исполнительный элемент, отличающийся тем, что устройство оценки процесса снабжено электронным блоком формирования косинуса от угла отклонения судна от курса и электронным блоком перемножения сигналов скорости и функции косинуса от отклонения судна от курса, а также электрическую связь с датчиком скорости.

Настоящее предложение даст более полное качество управления по оптимальному экономическому критерию, т.е. снижение удельных затрат топлива и повышения эксплуатационной скорости судна путем автоматической настройки оптимальных значений параметров авторулевого с помощью автономных средств.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Использование нового элемента — устройства вычисления проекции скорости судна на заданный курс — дает возможность повысить эффективность авторулевого и максимально приблизить качество управления курсом судна к оптимальному.

Описанная принципиальная схема способа оптимизации управления движением судна по курсу, осуществляемого устройством для этих целей, доказывает, что при любых изменениях объекта и внешних воздействий, при которых возможна робота авторулевого, новый метод осуществим в реальных условиях. Кроме того, обеспечивается техническая эффективность, выражающаяся в повышении уровня автоматизации судна и обеспечении в перспективе управления курсом судна без участия оператора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Телеманипуляторы типа TS. Техническое описание. – Варшава, 1978.
2. http://www.infomar.org/ru/news/450.html
3. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Романенко А.В. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. – Одесса, 2005.
4. Мордовченко Д.Н., Панякин Л.Г., Тарашин А.С. Техническая эксплуатация авторулевых. – М.: Транспорт, 1980.
5. Березин С.Я., Тетюев В.А. Системы автоматического управления движением судов по курсу. – Л.: Судостроение, 1974.

УДК 529.543

Толстов А.А., Лещенко В.В., Логвиненко Е.С.
ОНМА

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Неравномерное распределение реактивной нагрузки определяется различными внешними и скоростными характеристиками генератора и первичного двигателя, что вызвано технологическими отклонениями от расчетных номинальных значений параметров как генератора и первичного двигателя, так и элементов, входящих в систему регулирования.

Стремление получить высокую точность поддержания напряжения генератора (1%) и частоты вращения первичного двигателя приводит к неравномерному распределению реактивной нагрузки.

Колебания мощности при параллельной работе генераторных агрегатов обусловлены действием систем регулирования напряжения. Амплитуда колебаний может составить: по реактивной мощности — 15% суммарной мощности параллельно работающих генераторных агрегатов, по активной мощности — 10%. В связи с этим в системах регулирования напряжения и частоты вращения вводят дополнительные элементы, которые и обеспечивают требуемую точность распределения реактивной нагрузки.

Для систем компаундирования без коррекции напряжения обычно применяют уравнительные связи. Наибольшее распространение получили схемы с применением уравнительных соединений между обмотками возбуждения синхронных генераторов

После включения уравнительных соединений напряжение на обмотках возбуждения генераторов будет одинаковым и по величине меньшим, чем напряжение возбуждения первого генератора, и большим, чем напряжение возбуждения второго генератора до включения уравнительных соединений. Это приводит к уменьшению разности э. д. с. генераторов, т. е, к уменьшению уравнительного реактивного тока, а значит, к улучшению распределения реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами.

Уравнительные соединения значительно улучшают распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами, но не могут снизить уравнительные реактивные токи между генераторами до нуля.

Применение в системах возбуждения корректоров напряжения позволяет ввести сигнал, пропорциональный реактивной составляю-

щей тока статора, на вход корректора с помощью дополнительного устройства параллельной работы (компенсатор реактивной мощности генератора).

В качестве примера обеспечения стабильности параллельной работы генераторов (рис. 1) рассматривается метод равномерного распределения реактивной нагрузки между ними при помощи дифференциальных токовых трансформаторов (*DCT*), как компенсационных, состоящих из одной первичной *CCT* и двух вторичных обмоток *A* и *B* (*A* и *B* соединены между собой последовательно и обе встречно обмотке *CCT*).

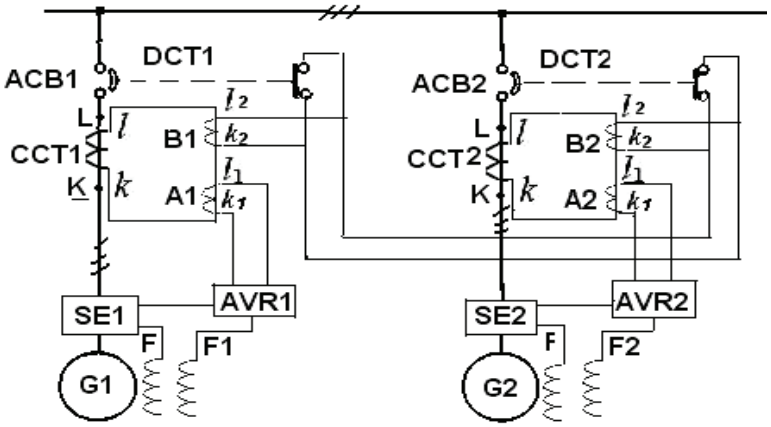
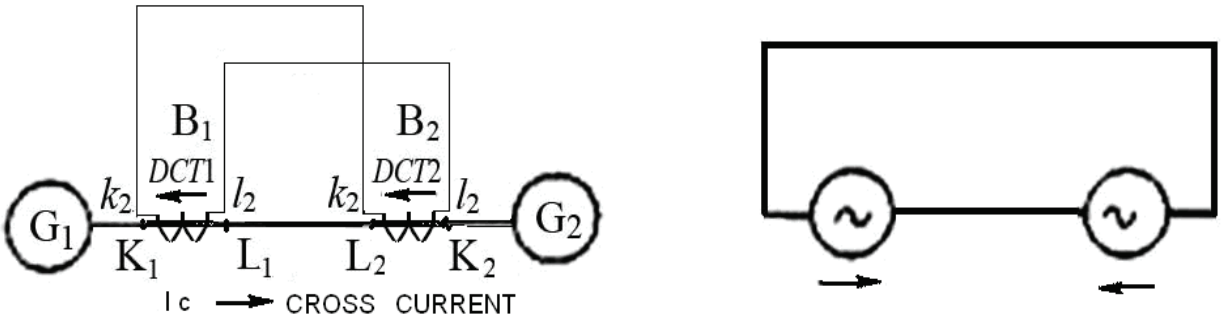


Рис. 1. Параллельная работа генераторов с DCT

В работе проведен анализ работы схем включения обмоток *DCT* при индуктивной, емкостной и смешанной нагрузках. Представлены схемы и диаграммы внешних характеристик генераторов при параллельной работе.

Дифференциальные токовые трансформаторы соединяются между собой только при параллельной работе генераторов с помощью размыкающихся контактов *ACB1* и *ACB2*.

При параллельной работе генераторов *G1* и *G2* вспомогательные нормально закрытые контакты *ACB* обоих генераторов разомкнуты, и компенсационный реактивный ток протекает через вторичные обмотки *DCT1*, *DCT2*, как показано на рис. *1*. Коммутация цепей вторичных обмоток *B1*, *B2* дифференциальных трансформаторов тока *DCT1*, *DCT2* показаны на рис. 2,*а*.



а *б*

Рис. 2. Направление реактивных токов в обмотках DCT

Если мы примем во внимание, что дифференциальные токовые трансформаторы являются постоянными токовыми источниками, т.к.

их вторичные обмотки *B1*, *B2* соединены перекрестно, то цепь на рис. 2,*а* эквивалентна такой, в которой два постоянных источника тока одинаковой мощности соединены последовательно в противоположных направлениях, как показано на рис. 2,*б*.

В этом случае реактивные токи *DCT* не текут через вторичные обмотки, а действует через *AVR* на свои обмотки возбуждения. Это означает, что в отношении реактивного компенсационного тока вторичные обмотки *B1*, *B2 DCT* могут считаться как не подсоединенные, и через компенсационные обмотки *CCT* в *AVR* возникает такое же напряжение, как и в случае без подключения *DCT*.

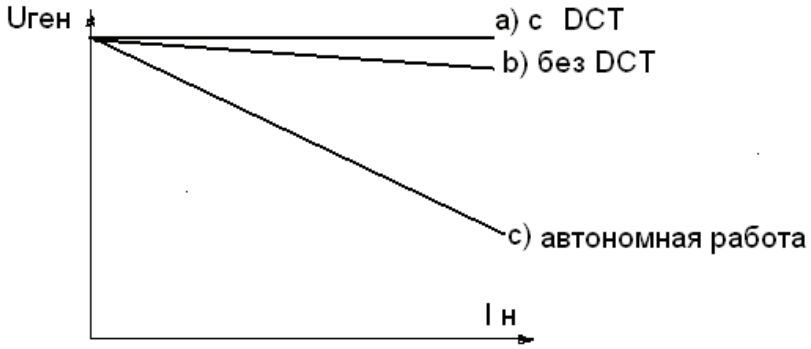
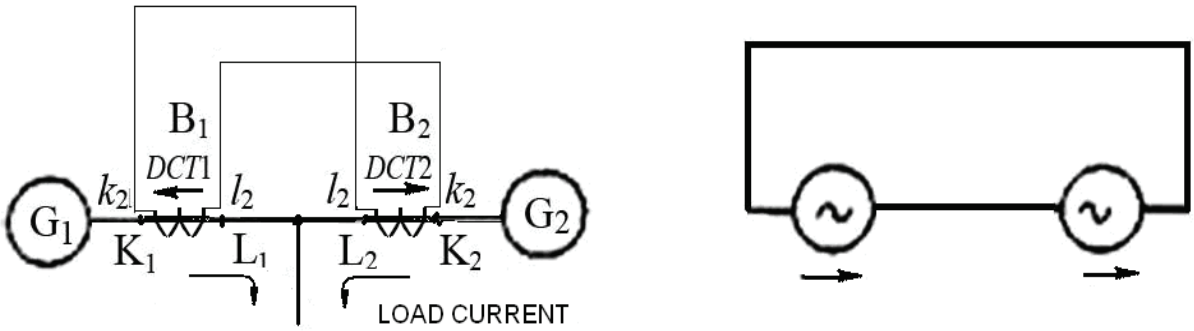


Рис. 3. Внешние характеристики генератора в различных вариантах подключения DCT

Что касается тока нагрузки, цепь соединения вторичных обмоток *B1, B2* эквивалентна схемам, представленным на рис. 4,*а* и 4,*б*, где два постоянных источника тока соединены последовательно.



а *б*

Рис. 4. Направление реактивных токов при разбалансировке нагрузок генераторов

Принимаем, что нагрузки сбалансированы. Тогда вторичные цепи DCT по отношению к току нагрузки становятся идентичными и состояние эквивалентно тому, в котором вторичные обмотки *DCT* закорочены. Соответственно, вторичный ток *DCT* из-за сбалансированных токов нагрузки не оказывает влияния на *AVR*.

В случае, когда компенсационная цепь *CCT* без *DCT*, например, при полной нагрузке, cosφ=0,8 и статизме 3,5% характеристика представлена кривой “*b*” на рис. 3.

Тем не менее, компенсационная цепь *CCT*, включая и *DCT*, показывает почти такую же характеристику, как в течение независимой работы, кривая “*a*” (см. рис. 3).

Как описано выше, компенсационная цепь, включая и *DCT*, работает, когда нагрузки сбалансированы, чтобы различать реактивный компенсационный ток (на 90° отстающий) и отстающий ток по нагрузке, который показывает падающую характеристику по отношению только к реактивному току (отстающему на 90°). Таким образом, регулировка напряжения при параллельной работе генераторов значительно улучшается по сравнению со случаем, когда не используются DCT.

Когда нагрузки не сбалансированы, и мы принимаем, что первый генератор, работает под полной нагрузкой, а второй — на холостом ходу. В этом случае генераторы имеют разные токи вторичных обмоток *CCT*, а именно: половина вторичного тока *CCT1* первого генератора потечет через *A1 DCT1* к нагрузочному резистору *R1* в *AVR1*, в то время, как оставшаяся половина потечет через обмотку *B1 DCT1* к обмотке *B2 DCT2* и через обмотку *A2 DCT2* к нагрузочному резистору *R2* в *AVR2* второго генератора. В это время полное сопротивление вторичной обмотки *CCT2*, как видно со стороны первичной обмотки *DCT2*, очень большое. Таким образом, состояние эквивалентно тому, в котором первичная обмотка *DCT2* разомкнута, т.е. цепи *DCT1*, *DCT2* аналогичны цепям, представленным на рис. 5.

Это означает, что первый генератор имеет пониженное напряжение благодаря протеканию отстающего тока, пока напряжение второго генератора повышается, так как ток *DCT2A*, протекающий и по своей обмотке, и по обмотке *B1 DCT1* действует как ток в противофазе к току обмотки *DCT1A*. Таким образом, происходит такая же операция, как если бы второй генератор питался бы опережающим током.

Таким образом, наличие дифференциальных токовых трансформаторов в цепи параллельной работы повышает не только качество распределения реактивной мощности между параллельно работающими генераторами при различных характерах нагрузки, но и улучшает внешние характеристики генераторов.

Реактивный ток при этом течет между двумя генераторами, соответственно через вторичные обмотки *DCT1* и *DCT2*. Так как вторичные обмотки *B1*, *B2* соединены согласно, токи их будут направлены также согласно. Токи же первичных обмоток *CCT1* и *CCT2* направлены встречно, т.к. их обмотки соединены также встречно (см. рис. 2,*a*).

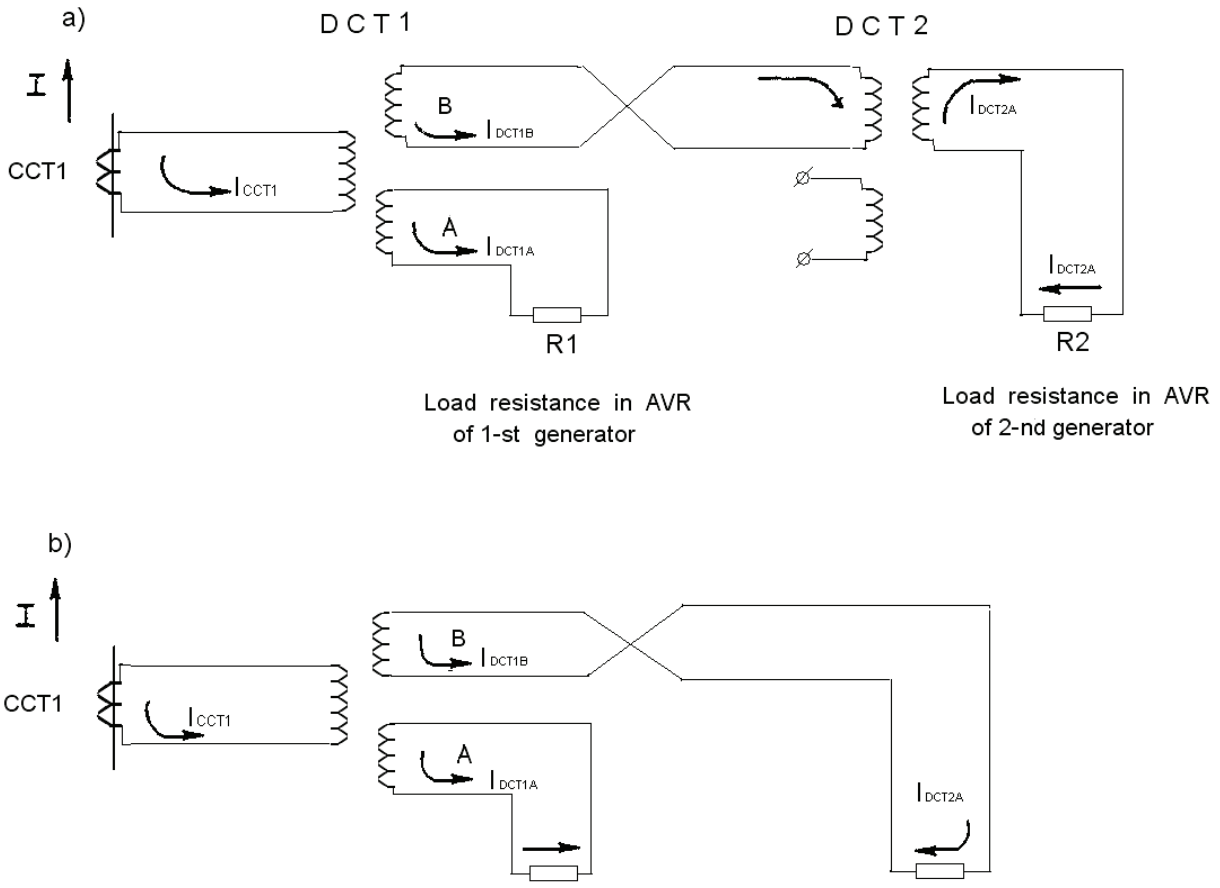


Рис. 5 Направления реактивных токов при несбалансированных нагрузках генераторов

В этом случае, реактивный ток не течет через обе вторичные обмотки *DCT*, а действует только через обмотки *A1, A2* обоих дифференциальных трансформаторов на соответствующие автоматические регуляторы напряжения *AVR* и эффект токовой компенсации осуществляется без вторичных обмоток *B1, B2*, как бы и в случае работы без *DCT*.

Предположим, что нагрузки распределены *равномерно.* Тогда, в соответствии с нагрузкой, направление токов во вторичных обмотках в дифференциальных токовых трансформаторах и их первичных обмотках имеют вид, в котором два постоянных источника питания включены согласно (см. рис. 4). При этом выходные сигналы обоих вторичных обмоток *DCT* одинаковы и можно предположить, что обмотки *B* зашунтированы. Соответственно, вторичные обмотки при равномерной нагрузке не имеют влияние от *AVR*.

Характеристика генератора с *ЦПР* без *DCT* при полной нагрузке при cos φ= 0,8 и статизме δ=3,5% показана на рис. 3*,б*. При подключенных же *DCT* характеристика генератора практически не отличается от характеристики холостого хода.

Таким образом, напряжение первого генератора понижается протеканием отстающего тока в то время, как на втором генераторе напряже-

ние повышается, благодаря току обмотки *DCT2A*, протекающим, кроме своей обмотки, по обмотке *DCT1B*, ток которой отстает на 180° по фазе по отношению к току обмотки *A* дифференциального трансформатора *DCT*. Объясняется это питанием второго генератора опережающим характером тока.

Как описано выше, при равномерной нагрузке *DCT* используются не только для распределения реактивных нагрузок (вводится различие между активной и реактивной мощностями), но и улучшения внешней характеристики генератора. В этом случае регулировка напряжения во время параллельной работы значительно улучшается по сравнению с работой без *DCT* (см. рис. 3).

Если нагрузки генераторов *разбалансированы* (у первого генератора полная нагрузка при cosφ=0,8, а у второго — холостой ход), токи вторичных обмоток генераторов *CCT* имеют различные значения, а именно, половина тока *CCT1* протекает через обмотку *DCT1A* к сопротивлению *R1 AVR1*, а вторая половина тока течет через обмотку *DCT1B* к обмотке *DCT2B* и через обмотку *DCT2A* к резистору нагрузки *R2 AVR2* второго генератора.

Временно полное сопротивление вторичной обмотки *CCT2*, включенной встречно первичной обмотке *DCT2*, очень велико: условие эквивалентно разомкнутому ее состоянию (см. рис. 5).

Напряжение первого генератора понижается протеканием отстающего тока в то время, как на втором генераторе напряжение повышается, благодаря току обмотки *DCT2A*, протекающим , кроме своей обмотки, по обмотке *DCT1B*, отстающим на 180° по фазе по отношению к току обмотки *A* дифференциального трансформатора *DCT*. Объясняется это питанием второго генератора опережающим током.

Исходя из выше изложенного, сделан вывод, что наличие дифференциальных токовых трансформаторов в цепи параллельной работы повышает не только качество распределения реактивной мощности между параллельно работающими генераторами при различных характерах нагрузки, но и улучшает внешние характеристики генераторов.

Реактивный ток при этом течет между двумя генераторами, соответственно через вторичные обмотки *DCT1* и *DCT2*. Т.к. вторичные обмотки *B1*, *B2* соединены согласно, токи их будут направлены также согласно. Токи же первичных обмоток *CCT1* и *CCT2* направлены встречно, т.к. их обмотки соединены также встречно (рис. 2,а).

Электроэнергетическая система (см. рис. 1) была смоделирована с помощью пакета *Sim Power System* / *MATLAB* (рис. 6) с целью изучения характера изменения различных параметров параллельной работы генераторов при индуктивной, емкостной и смешанной нагрузках.

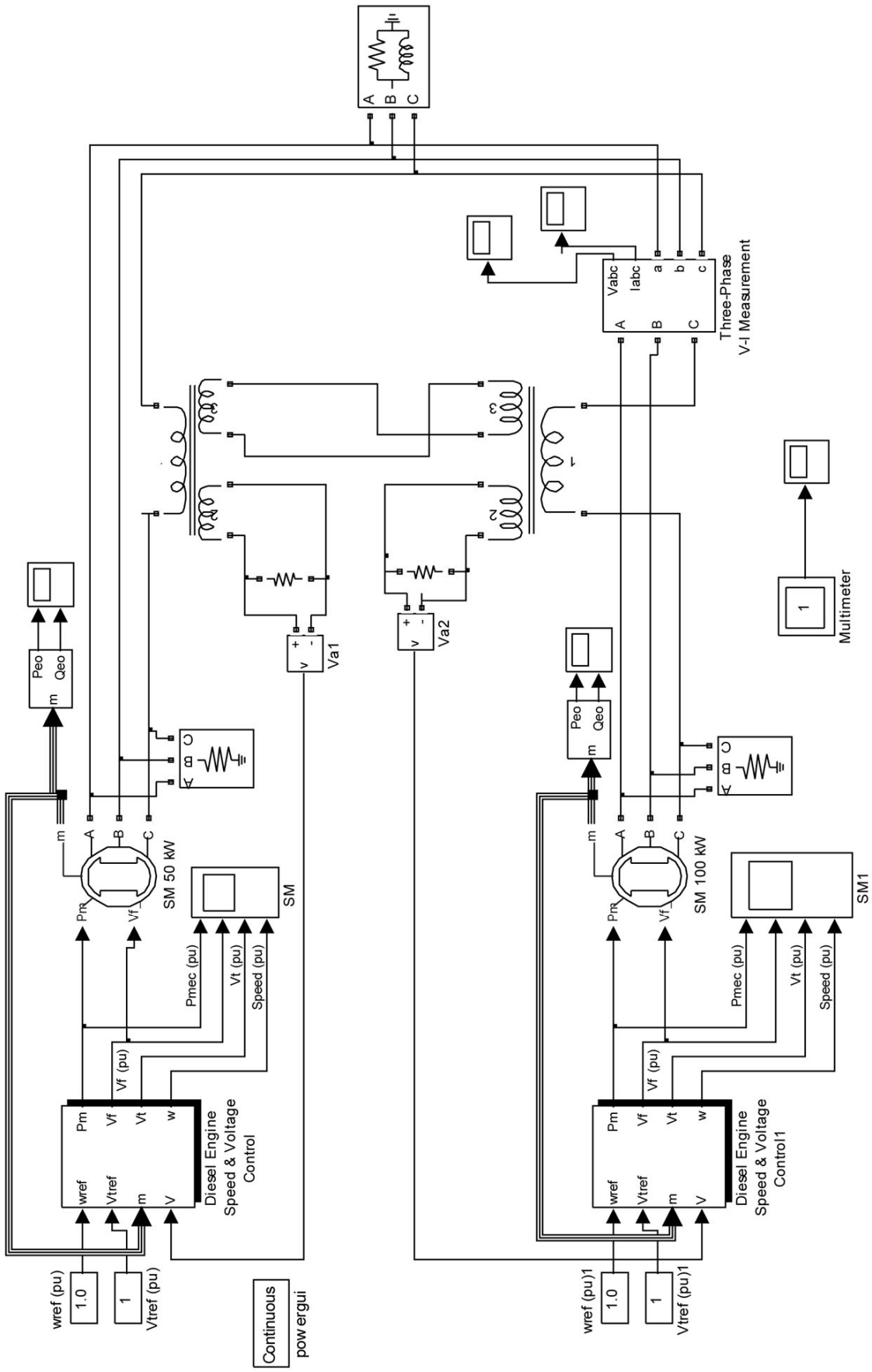


Рис. 6. Модель электроэнергетической системы в пакете Sim Power System / MATLAB

На рисунках 7 - 10 представлены графики изменения основных параметров СГ при различных по характеру нагрузках: реактивной мощности, напряжение генератора, частоты вращения и напряжения возбуждения.

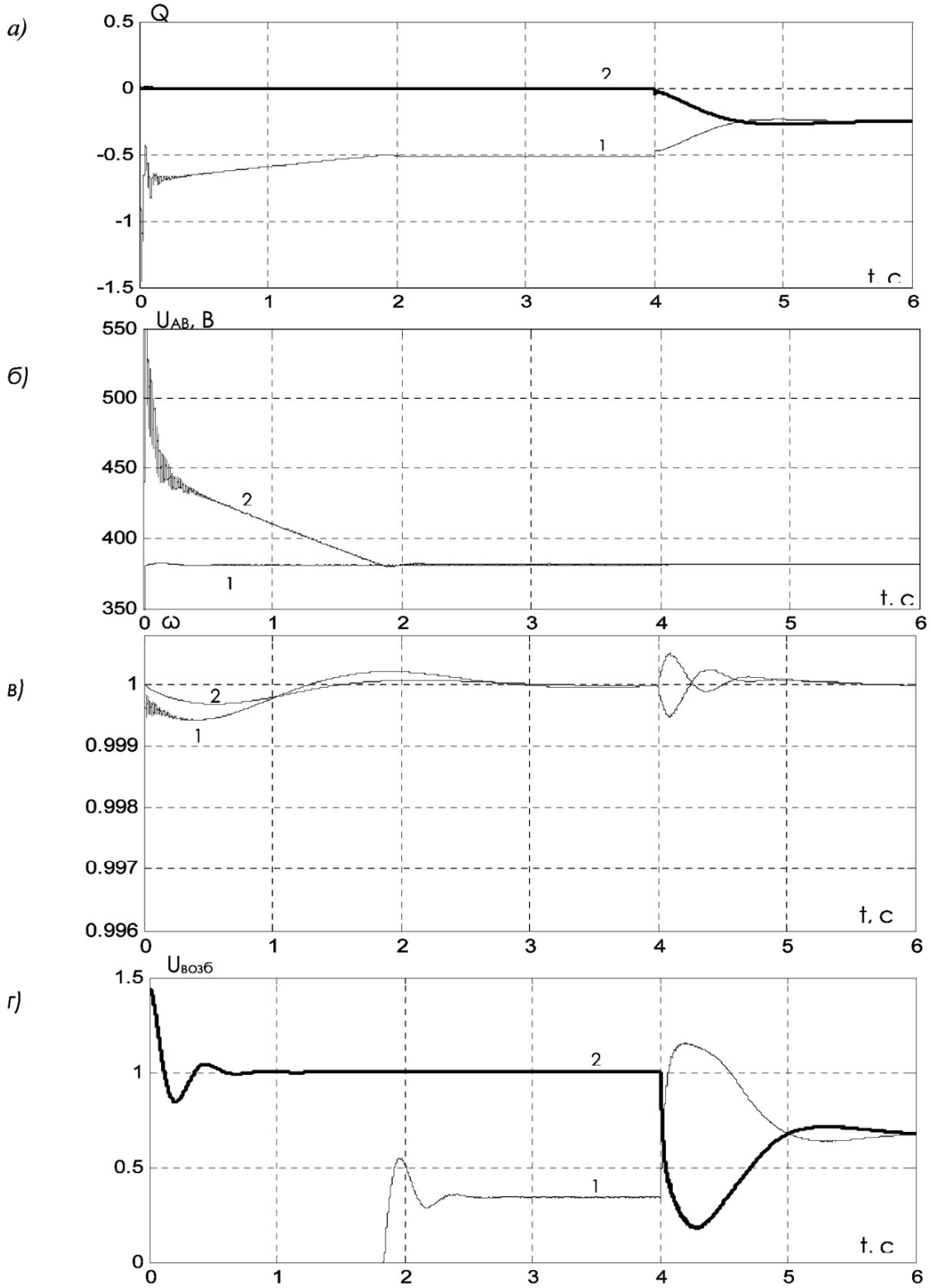


Рис. 7. Емкостная нагрузка (не сбалансированная): генератор 1 работает под нагрузкой (Q_C = 50 кВАр), генератор 2 — вхолостую; в момент времени 4 с. генератор 2 подключается к той же нагрузке

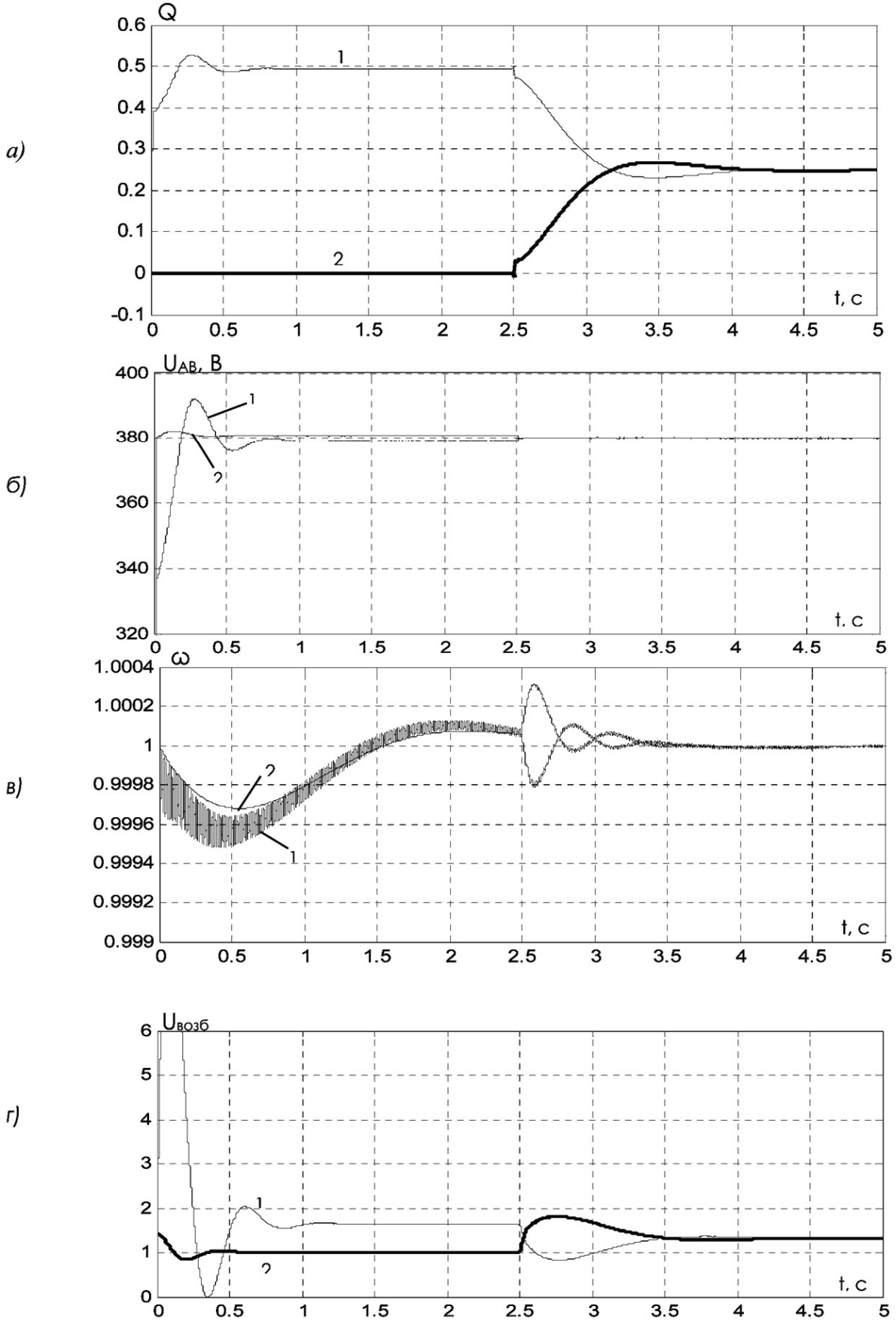


Рис. 8. Индуктивная нагрузка (не сбалансированная): генератор 1 работает под нагрузкой (Q_L = 50 кВАр), генератор 2 — вхолостую; в момент времени 2.5 с. генератор 2 подключается к той же нагрузке

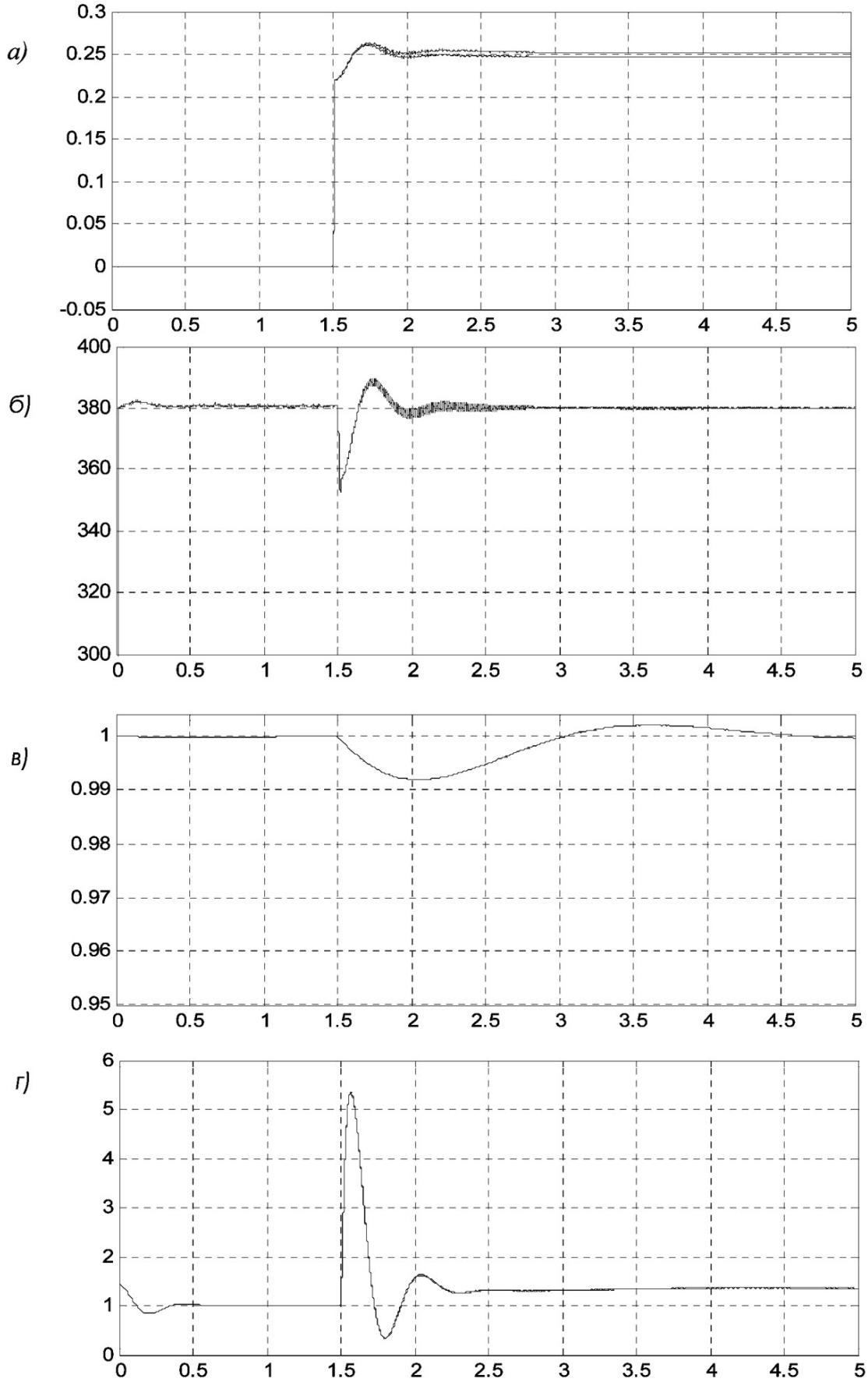


Рис. 9. Активно-индуктивная нагрузка (сбалансированная): наброс нагрузки (P = 50 кВт, Q = 50 кВАр) на оба генератора в момент времени 1,5 с

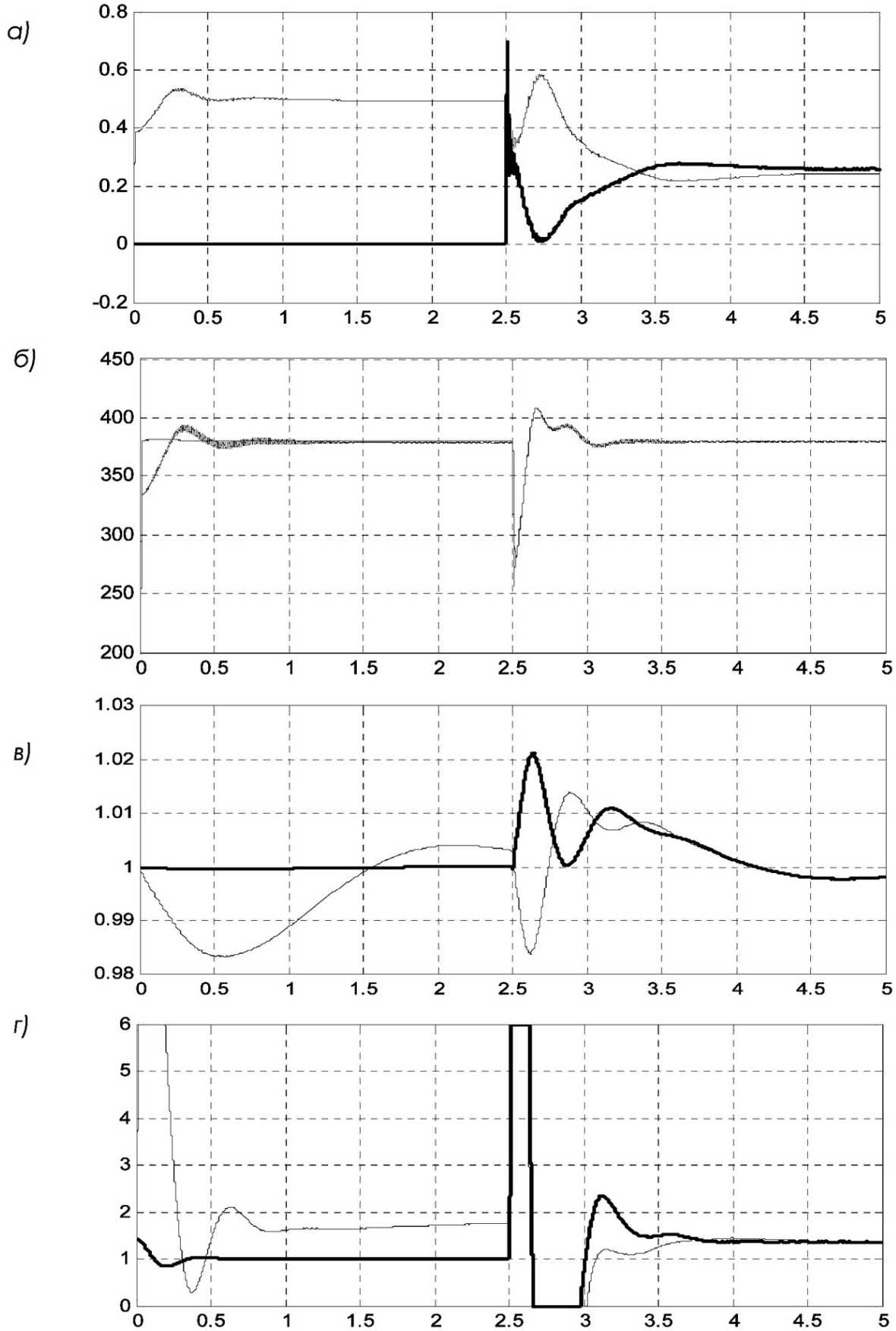


Рис. 10. Активно-индуктивная нагрузка (не сбалансированная): генератор 1 работает под нагрузкой (Q_L = 50 кВАр), генератор 2 — вхолостую. В момент времени 2,5 с генератор 2 подключается к той же нагрузке

1. При чисто емкостной нагрузке (несбалансированной) (рис. 7а) емкостная нагрузка приводит к переходным процессам в течение 2 с в то время, как при набросе на параллельно работающие СГ – в течение 0,5 с. Линейное напряжение второго генератора , работающего вхолостую, успокаивается в течение 2 с. Частота вращения изменяется незначительно (рис. 7в) , напряжение возбуждения претерпевает большие изменения, но в течение 1 с возвращается в норму.
2. При чисто индуктивной нагрузке (несбалансированной) изменение реактивной нагрузки у генераторов значительно и приходит в норму в течение 0,5 - 1,5 с. Линейное напряжение (рис. 8б) после наброса индуктивной нагрузки приходит в нормальное состояние через 0,5 - 1 с. Частота вращения (рис. 8в) после наброса индуктивной нагрузки приходит в нормальное состояние через 2,5 с, а напряжение возбуждения (рис. 8г) — в течение 1 с.
3. При активно-индуктивной нагрузке изменения параметров происходит значительно, но все гасится в течение 1-2 с, т.е. здесь рассматривался сложный процесс наброса нагрузки.
4. При активно-индуктивной (сбалансированной) нагрузке параметры (рис. 9) изменяются незначительно и восстанавливаются в течение 0,5 с, частота вращения в течение 3 с. Напряжение возбуждения изменяется значительно, но восстанавливается в течение 5 с.

Выводы.

Таким образом, учитывая, что основным режимом работы синхронных генераторов является параллельная работа на активно-индуктивную нагрузку, использование *DCT* позволяет значительно уменьшить время переходных процессов, что увеличивает надежность работы и улучшает экономические показатели СЭЭС.

Наиболее неустойчивые переходные процессы наблюдались при емкостной и активно-индуктивной несбалансированных нагрузках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пипченко А.Н. и др. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. – Одесса: ТЭС, 2005. – 370 с.
2. Максимов Ю.И., Павлюченков А.М. Эксплуатация судовых синхронных генераторов. – М.: Транспорт, 1969. – 264 с.
3. Manual automatic voltage regulator Tayo El. MFG. Co. Ltd.

РЕФЕРАТЫ

УДК 677.72.001.622.67.531.3

Бекерский В.И. Контактные напряжения в гибких рабочих органах судовых вспомогательных механизмов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 4-9.

Определяются внутренние контактные напряжения на прямом и изогнутом участках гибкого рабочего органа при его движении по блоку. Доказана возможность возникновения фреттинг-коррозии.

Табл. 1. Рис. 1. Список лит. 3.

Bekersky V.I. Contact Efforts in Flexible Working Controls of Auxiliary Mechanisms // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 4-9.

Determine contact internal efforts on straight and curved parts of flexible working control by his way on pulley. Possibility of fretting was proved.

Tabl. 1. Fig. 1. Bibl. 3.

УДК 621.436.72 (045)

Голиков А.А., Гродзицкий М.А. Совершенствование характеристик рабочих тел СДВС для уменьшения эмиссии NO_x // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 10-19.

Рассмотрены основные способы снижения окислов азота в отработавших газах СДВС. Проведен анализ существующих методов уменьшения эмиссии NO_x при работе дизеля.

Рис. 3. Список лит. 13.

Golikov A., Grodzitsky M. Improvement of Working Media Characteristics of Internal Combustion Engines to Reduce NO_x Emission // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 10-19.

Main methods of reducing NO_x emission in internal combustion engine exhaust gases ware considered. Existing techniques of decreasing NO_x emission at engine operation were analyzed.

Fig. 3. Bibl. 13.

УДК 621.436+621.31:625.5.035

Будашко В.В. Оцінка ефективності передачі потужності в суднових дизель-електричних комплексах // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 20-24.

Для комбинированных дизель-электрических пропульсивных комплексов: малооборотный дизель, асинхронный двигатель и среднеоборотный дизель, которые являются актуальными, предлагается подход к оценке эффективности передачи мощности.

Рис. 3. Табл. 1. Лит. 5.

Budashko V.V. The Estimation of Power Transfer Effectiveness in Marine Diesel-Electric Complexes // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 20-24

The approach of estimation of efficiency of power's transmission for the actual ship diesel-electrical propulsion complex with the main low-speed engine, asynchronous motor and middle-speed engine is offered.

Fig. 3. Tabl. 1. Bibl. 5.

УДК 681.518: 004.85

Войтецкий И.Е., Вишневская В.М. Алгоритм обучения и оценки уровня знаний морских специалистов с использованием системы нечеткого вывода // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 25-29.

Проведен краткий обзор компьютерных программ для обучения и оценки уровня знаний. Предложен алгоритм обучения и оценки уровня знаний с использованием системы нечеткого вывода.

Илл. 2. Список лит. 3.

Voytetsky I.E., Vishnevskaya V.M. Algorithm for Marine Specialists Teaching and Knowledge Level Estimation Using Fuzzy Reasoning System // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 25-29.

The brief review of the computer programs is conducted for teaching and estimation of level of knowledge. The algorithm of teaching and estimation of level of knowledge is offered with the use of the system of fuzzy reasoning

Fig. 2. Bibl. 3.

УДК 621.182

Дулдиер А.П. Формализация параметров рабочего процесса в топках котельных установок при их оценке по цветовым характеристикам излучения пламени // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 30-33.

На базе аналитической модели горения предложена оценка процесса по цвету пламени с учётом характеристической скорости горения.

Список лит. 4.

Duldier A.P. Formalization of Working Process Parameters in the Furnaces of Boiler Installations at Their Estimation by Color Characteristics of Flame Radiation // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 30-33.

On the ground of analytical model of burning process the estimation of the process stage by means of flame radiation is suggested taking into account characteristic burning speed.

Bibl. 4.

УДК 621.43: 621.928.3

Радченко О.П. О применении СВЧ-излучения для подготовки топлива в СЭУ // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 34-36.

Показано, что энергетические затраты на разогрев топлива можно снизить путем применения СВЧ-воздействия. Молекулярное воздействие СВЧ-излучения на некоторые составляющие топливной смеси можно использовать для повышения эксплуатационных свойств топлива.

Список лит. 4.

Radchenko O.P. Using of Microwave Radiation for Fuel Conditioning in Marine Power Plants // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 34-36.

It is shown that energy needed for heating fuel may be reduced by means of microwave radiation. Molecular influence of microwave radiation on some components of the fuel may increase performance attributes of the fuel.

Bibl. 4.

УДК 621.438

Миюсов М.В., Денисов В.Г. Повышение безопасности газотурбинных двигателей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 37-41.

Рассмотрен способ оценки технического состояния подшипников газотурбинных двигателей по продуктам износа, содержащимся в смазке. Предложен компактный прибор с датчиком для экспресс-анализа.
Илл. 2. Список лит. 5.

Miyusov M.V., Denisov V.G. The Increase of Gas Turbine Engines Safety // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 37-41.

The method of estimation of technique state of bearings of gas turbine engines using the products of wear that are present in lubricant oil is discussed. Compact device with the sensor for express-analysis is proposed.
Fig. 2. Bibl. 5.

УДК 621.311

Жиленков А.А. Разработка вопросов устойчивости полупроводниковых преобразовательных устройств в сети ограниченной мощности // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 42-48.

В рамках проблемы электромагнитной совместимости электрооборудования создано и исследовано наблюдающее устройство, которое позволяет обеспечить устойчивость работы мощных полупроводниковых преобразователей в судовых сетях.
Илл. 3. Список лит. 7.

Zhilenkov A.A. Development of Semiconductor Converters Stability in Current Networks of Limited Power // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 42-48.

As a part of the problem of electromagnetic compatibility of electric installations it was created and investigated controlling device that gives the possibility to guarantee the stability of power semiconductor converters in current networks onboard a ship.
Fig. 3. Bibl. 7.

УДК 629.12.03:628.05

Истомин В.И. Расчет скорости фильтрации нефтесодержащих вод СЭУ в тканевых фильтроэлементах с учетом их пористости // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 49-52.

Рассчитана реальная скорость фильтрации нефтесодержащих вод СЭУ в тканевых фильтрах с учетом их пористости, которая зависит от размера ячейки и диаметра нити ткани, это позволит повысить эффективность очистки нефтесодержащих вод.
Илл. 1. Список лит. 3.

Istomin V.I. The Calculation of Speed of the Filtration of SPP Oily Waters in Cloth Filters Taking Into Account Their Porosity // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 49-52.

The real speed of filtration of SPP oil-content waters in cloth filters is calculated taking into account their porosity which depends on a size of sell and diameter of cloth thread. It will give an opportunity to increase the efficiency of oil-content waters purifying.
Fig. 1. Bibl. 3.

УДК 517.938

Воловник М.С. Разработка и исследование микропроцессорной системы регулирования частоты вращения главного двигателя // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 53-58.

Статья посвящена разработке структуры и исследованию микропроцессорной системы управления частотой вращения главного судового двигателя. Определены функции и перечень сигналов системы, а также произведено ее исследование в динамических режимах работы двигателя.

Илл. 1. Список лит. 2.

Volovnik M.S. Development and Investigation of Microprocessor System of Main Engine Speed Regulation // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 53-58.

The article is dedicated to development of automatic control system based on microprocessor. This system stabilizes the speed of the main engine of the ship. The work of system was studied on the computer model in dynamic mode of operation of main engine.

Fig. 1. Bibl. 2.

УДК 656:621.431

Коханский А.И., Колпакчи Э.М. Математическая модель нестационарных процессов охлаждения наддувочного воздуха судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 59-69.

Получена математическая модель процессов охлаждения наддувочного воздуха судовых дизелей при сухом теплообмене. Модель позволяет рассчитать или смоделировать статические и динамические характеристики охладителя наддувочного воздха (ОНВ), как объекта регулирования при различных возмущениях. Модель предназначена для синтеза и анализа системы регулирования температуры воздуха в ОНВ.

Илл. 1. Список лит. 8.

Kohansky A.I. Kolpakchi E.M. Mathematical Model of Non-stationary Processes of Cooling Supercharging Air in Marine Diesel Engines // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 59-69.

Mathematical model of cooling processes of supercharging air in marine diesel engines with dry heat exchange has been received. The model allows either to calculate or simulate static and dynamic characteristics of supercharging air cooler (SAC) as the object of control under different disturbances. The model is recommended for synthesis and analysis of system for control of air temperature in SAC.

Fig. 1. Bibl. 8.

УДК 621.896

Кардаш В.П., Ханмамедов С.А. Повышение эффективности эксплуатации судовых устройств // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 70-77.

В работе показано, что в судовых устройствах имеющих кинематическую схему с электрической и гидравлической системой передачи энергии к исполнительному механизму с целью экономии топливно-энергетических ресурсов возможно осуществлять рекуперацию части энергии в судовую сеть при работе механизма в генераторном режиме.

Илл. 5. Список лит. 6.

Kardash V.P., Khanmamedov S.A. The Increase of Operating Efficiency of Seaborne Machinery // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 70-77

It is shown that at seaborne machinery that has kinematics with electric and hydraulic transmission of energy to actuating unit it is possible to make recuperation of part of energy back to ship electric network using generator mode of actuating unit with the aim of resource conservation.

Fig. 5. Bibl. 6.

УДК 629.5.051.5(045)

Варбанец А.Н. Версаль А.Ф. Александровская Н.И. Новый подход к адаптивному авторулевому // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 78-84.

Использование нового элемента — устройства вычисления проекции скорости судна на заданный курс — дает возможность повысить эффективность авторулевого и максимально приблизить качество управления курсом судна к оптимальному.

Илл. 3. Список лит. 5.

Varbanets A.N. Versal A.F. Alexandrovskaya N.I. New Approach to Adaptive Auto Chief // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 78-84.

The use of new element — the device for calculating of speed projection of the ship onto heading set — gives the possibility to increase auto chief effectiveness and to bring the quality of conning close to optimal.

Fig. 3. Bibl. 5.

УДК 529. 543

Толстов А.А., Лещенко В.В., Логвиненко Е.С. Метод распределения реактивной мощности при параллельной работе синхронных генераторов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 85-96.

Показано, что при параллельной работе синхронных генераторов на активно-индуктивную нагрузку, использование DCT позволяет значительно уменьшить время переходных процессов, что увеличивает надежность работы и улучшает экономические показатели СЭЭС.

Илл. 10. Список лит. 3.

Tolstov A.A., Leshchenko V.V., Logvinenko E.S. Method of Reactive Power Distribution at Parallel Work of Synchronous Generators // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2007. – No 18. – Odessa: ONMA. – P. 85-96.

At parallel work of synchronous generators on impulse-reaction load the use of DCT makes possible significant reduction of transition time that increases the reliability and improves economic indexes of marine electric power plant.

Fig. 10. Bibl. 3.

ПРАВИЛА

оформления и представления рукописей для сборника
«Судовые энергетические установки»

Научно-технический сборник Одесской национальной морской академии «Судовые энергетические установки» является научным изданием, в котором в соответствии с постановлением Президиума ВАК Украины могут публиковаться основные результаты диссертационных работ по профилю судовой энергетики.

Рукопись представляется в редакционную коллегию на дискете 3,5” в формате «Microsoft Word» с бумажной копией, подписанной всеми авторами, и с контактной информацией: адреса, телефоны. К статье обязательно прилагается реферат объёмом *не более* 300 печатных знаков на русском и английском языках. Объём статьи — до 0,5 авторского листа с учётом иллюстраций и подрисуночных подписей.

Статья должна содержать постановку проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций по теме статьи, формулирование целей статьи (постановку задачи), изложение основного материала с необходимыми обоснованиями, выводы и перспективы дальнейших исследований.

Требования к оформлению.

Формат бумаги А5 (148×210) Все поля — 16 мм. Текст через 1 интервал, *Times New Roman*, 10,5 пт; таблицы, заголовки таблиц, подрисуночные подписи — 9 пт.

Переменные, функции, векторы, матрицы и т.п. оформляются шрифтом *Antiqua*. Переменные выполняются наклонным шрифтом, векторы — полужирным, без наклона; греческие символы — во всех случаях без наклона; индексы: латинские — с наклоном, кириллические — без наклона. Размеры в *Equation* (*MathType*): основной — 10,5 пт, увеличенный — 16 пт, индекс — 7 пт, субиндекс — 6 пт. Во всех случаях разметка формул в копии рукописи обязательна. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Формулы отделяются от текста строками высотой 2 пт.

Таблицы следует располагать на одной странице (кроме случаев, когда таблица занимает больше 1 страницы). Заголовок — 9 пт, без переноса, интервал перед — 8 пт, после — 2 пт, основной шрифт таблицы — 9 пт. Рисунки отделяются от текста сверху интервалом 8 пт, от названия — 2 пт. Название рисунка — кегль 9 пт, без переноса, интервал после — 8 пт. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте статьи.

Единицы физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-81 «Единицы физических величин» и иметь общепринятые обозначения.

Перед названием статьи указываются индекс УДК, фамилии и инициалы авторов, сокращённые наименования учреждений, где работают авторы. Заголовок статьи оформлять стилем Заголовок 1, кегль 10,5 пт, без переноса, все прописные, интервал: перед — 8 пт, после — 2 пт.

Иллюстрации, подготовленные в графических редакторах, дополнительно прилагаются на дискете в качестве отдельных файлов в исходном формате. Размер надписей должен обеспечивать их читаемость (8-10 пт). Для сканированных рисунков прилагается оригинал в туши на белой бумаге достаточной плотности. На обороте указывается номер и принадлежность к статье.

Библиографические описания должны соответствовать требованиям ВАК.

Редакция предоставляет электронный шаблон статьи с примерами оформления.

Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: seu@ma.odessa.ua

Судовые энергетические установки:
научно-технический сборник.
Выпуск 18.

Подписано к печати 5.07.2007 г. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 6,03. Тираж 100. Зак. № 316.
ОНМА, центр „Видавінформ”
Свидетельство ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua