

УДК 629.12-8:629.12.037

В. А. ЯРОВЕНКО, Е. И. ЗАРИЦКАЯ

УПРАВЛЕНИЕ ГРЕБНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОХОДОВ НА МАНЕВРАХ

Обґрунтовано доцільність пошуку оптимальних законів управління гребними електродвигунами електроходів за показниками якості роботи судна, як старшої системи. Надано стратегію, запропоновано метод та описана процедура пошуку оптимальних рішень. Знайдені оптимальні закони управління асинхронними частотно-керованими гребними електродвигунами при розгоні і гальмуванні електроходів. Проведено порівняльний аналіз роботи пропульсивних комплексів при управлінні за класичними й за знайденими оптимальними законами управління. Проілюстровано ефективність запропонованого метода пошуку оптимальних рішень.

Ключові слова: гребні двигуни електроходів, маневрування суден, оптимальне управління, системний підхід.

Обоснована целесообразность поиска оптимальных законов управления гребными электродвигателями электроходов по показателям качества работы судна, как старшей системы. Представлена стратегия, предложен метод и описана процедура поиска оптимальных решений. Найдены оптимальные законы управления асинхронными частотно-управляемыми гребными электродвигателями при разгоне и торможении электроходов. Проведен сравнительный анализ работы пропульсивных комплексов при управлении по классическим и найденным оптимальным законам управления. Проиллюстрирована эффективность предложенного метода поиска оптимальных решений.

Ключевые слова: гребные двигатели электроходов, маневрирование судов, оптимальное управление, системный подход.

Investigations were carried out in relation to asynchronous frequency-controlled propulsion motors. Known laws of optimal control of asynchronous electric motors for propulsion electric drives are not suitable. The expediency of searching optimal laws of propulsion motors' control in terms of the quality of the ship's operation as the senior system is grounded. To solve these problems propulsion motors are considered as part of a single ship's propulsion complex. The structure included its heat engines, electric propulsion plant, wheel, screws and ship's hull. A special optimization method was developed. It showed high efficiency to solve the given tasks. The strategy was presented and the procedure of search for optimal solutions was described. The parameters that affect the quality of the vessel's performance were found. The optimal control laws of asynchronous frequency-controlled propulsion motors during electric vessels' acceleration and braking were found out. The research results cover a large class of vessels. A comparative analysis of the results of the control in terms of classic and discovered optimal laws was conducted. High efficiency of the proposed method, of search for optimal solutions was illustrated.

Keywords: electric vessels' propulsion motors, vessels' maneuvering, optimal control, system approach.

Введение. В качестве гребные электродвигатели (ГЭД) на современных электроходах используются асинхронные частотно-регулируемые электрические машины. Наибольшую сложность на этих судах представляет управление гребными двигателями при маневренных режимах. Система управления, как это принято в частотнорегулируемом электроприводе, должна сформировать два независимых управляющих сигнала – по частоте и по напряжению. Существующие [1] «классические» законы оптимального управления (а именно они и рекомендуются [2] для использования в гребном электроприводе) «привязаны» к наиболее характерным зависимостям момента сопротивления на валу двигателя $M_C(\omega)$ от угловой скорости его вращения ω . Чаще всего рассматриваются законы управления при постоянном моменте сопротивления, при постоянной мощности и при «вентиляторной» нагрузке.

Анализ основных достижений. У электроходов момент сопротивления гребного винта является сложной функцией угловой скорости его вращения и скорости движения судна v . Кроме того, при глубоком регулировании скорости вращения двигателей (а именно это и имеет место при работе судна на маневрах) неизбежен переход от одного классического закона регулирования к другому [1] (причем, переход – плавный). В связи с этим, назначение наилучшего закона управления гребными электродвигателями остается в настоящее время открытым.

При рассмотрении реальных объектов, появляются дополнительные критерии оценки

качества управления. Зачастую эти критерии оказываются намного важнее тех, ориентируясь на которые разрабатывались классические законы оптимального управления. Для автономных движущихся объектов, к которым относятся суда и корабли, поиск оптимальных законов управления гребными электродвигателями требует применения комплексного критерия, учитывающего совокупность разнородных показателей полезности и в первую очередь критерии, учитывающие назначение и показатели качества работы самого объекта – судна.

Цель исследований. В основу поиска оптимальных законов управления гребными электродвигателями электроходов должен быть положен системный принцип, предусматривающий такое построение любой сложной системы (или системы управления объектом), которое будет удовлетворять требованиям старшей системы, для которой она построена [3]. Т.е. поиск оптимальных законов управления гребными электродвигателями электроходов должен осуществляться по критериям судна, для обеспечения движения которого электродвигатели предназначены. Разработка методов поиска таких решений и является целью настоящей работы.

Материал исследований. В соответствии с системным подходом к управлению движением электроходов, предлагается оптимальные законы управления электродвигателями отыскивать по критериям минимума:

- продолжительности выполнения маневра – t_{man} ;
- пройденный судном путь – X_{man} ;
- затрат энергии на выполнение маневра – W_{man} ;

© В.А. Яровенко, Е.И. Зарицкая, 2016

– електромагнитных потерь в гребных электродвигателях – P_{em} .

При такой постановке задач, гребные электродвигатели должны рассматриваться в совокупности со всеми остальными составными частями всего судового пропульсивного комплекса [4], в состав которой входят источники энергии – тепловые двигатели, гребная электрическая установка, гребные винты, руль, корпус судна и система управления. Это в еще большей степени затрудняет поиск оптимальных законов управления гребными электродвигателями.

Для поиска оптимальных законов управления гребными электродвигателями предлагается использовать обобщенную математическую модель переходных режимов работы пропульсивных комплексов электроходов, представленную в работе [4]. Модель представлена в безразмерных единицах, что позволило выявить критерии динамического подобия (обобщенные безразмерные параметры) пропульсивных комплексов. Такой подход позволяет охватить результатами исследований большой класс судов – комплексы с равными значениями критериев подобия имеют одинаковые законы изменения режимных показателей и равные значения показателей качества маневрирования. С помощью математической модели можно рассчитывать текущие значения основных режимных показателей всех составных частей комплекса и оценивать показатели качества выполнения маневров.

Система управления частотно-управляемыми гребными электродвигателями электроходов должна формировать два независимых сигнала управления – по частоте и по напряжению. Значение относительной частоты α питающего двигателя напряжения зависит от положения рукоятки поста управления (ПУ), а скорость изменения α (в общем случае – оптимизируемый параметр) определяется настройками задатчика интенсивности изменения управляющего сигнала. Второй канал регулирования – по напряжению $\gamma = \gamma(\alpha)$ – должен обеспечить оптимальный режим работы гребной электрической установки в соответствии с выбранными критериями качества регулирования.

Поскольку «классические» законы оптимального управления, как было отмечено выше, не дают желаемого результата, предлагается [5] отыскивать законы управления в виде

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha_{\text{уст}} [1 - \exp(-k_4 t_*)] \\ \gamma &= k_0 + k_1 \alpha + k_2 \alpha^2 + k_3 \alpha^3 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – оптимизируемые параметры; t_* – безразмерное время; $t_* = v_0 t / L$ (здесь: v_0 – скорость движения судна в установившемся базовом режиме работы) t – текущее время, L – длина судна

В соответствии с постановкой задачи, определение оптимальных законов управления ГЭД для каждого электрохода осуществляется по результатам расчета текущих значений режимных показателей всего пропульсивного комплекса (включающего в себя первичные двигатели, генераторы электрического тока, преобразователи электроэнергии, гребные элек-

тродвигатели, гребные винты, корпус электрохода, систему автоматического регулирования) на протяжении всего маневра. При этом имеется большое число ограничений, обеспечивающих нормальное функционирование энергетической установки. Каждое решение (решение в каждой точке оптимизируемого пространства) – это многократный (несколько сотен) полный расчет всего маневра.

По своей постановке решаемые задачи относятся к области нелинейного программирования и заключаются в отыскании экстремумов целевой функции

$$f(\mathbf{k}), \mathbf{k} \in K^n, \quad (2)$$

при p линейных ограничениях в виде неравенств

$$p_j(\mathbf{k}) \geq 0, j=1, 2, \dots, p. \quad (3)$$

Оптимальным решением будет являться пара

$$\mathbf{k}^* = [k_0, k_1, \dots, k_4], f^* = f(\mathbf{k}^*). \quad (4)$$

Решение подобных задач требует огромных затрат времени на вычислительные процедуры, поэтому выбору метода оптимизации следует уделить особое внимание. Детальные исследования поведения целевой функции в оптимизируемом пространстве, показали, что существующие методы оптимизации приводят к затяжным процедурам и к недостоверным результатам. Потребовалась разработка «своего» метода оптимизации, учитывающего в полной мере характер целевых функций. Как показали исследования, целевые функции, построенные из выбранных критериев качества, являются многоэкстремальными, с неизвестным количеством точек локальных минимумов. Поэтому в основу алгоритмов поиска оптимальных решений были положены методы глобальной оптимизации. Использован метод глобального случайного поиска – случайный мултистарт. Для предотвращения повторных спусков к точкам локальных оптимумов в алгоритм глобальной оптимизации была заложена комбинация пассивного метода покрытий – метода случайной сетки – с модифицированным методом туннельного алгоритма.

Еще одной отличительной особенностью целевых функций является то, что они имеют вид крутых, вытянутых оврагов. Исходя из этого, поиски локальных оптимумов осуществлялись комбинацией методов локальных спусков со способами овражного поиска. Поиски локальных минимумов осуществлялись по методу Нелдера-Мида с модифицированной (для сокращения числа расчетов) процедурой сжатия [5]. При этом точка шага сжатия приближалась к лучшей вершине многогранника. Используемые методы оптимизации сочетались с методом штрафных функций, что позволило свести задачу нелинейного программирования с ограничениями к эквивалентной последовательности задач без ограничений

В работе [6], показано решение похожих задач, связанных с вопросами оптимального проектирования пропульсивных комплексов электроходов. Оно выполнено на основе разработанного метода. Эти же методы оптимизации могут быть использованы и при поисках оптимальных законов управления ГЭД электроходов на маневрах.

Нижче приведені деякі результати оптимізації застосовано до двох основних маневрів: розгону електрохода і його реверсу.

Розгон електрохода. Стратегія пошуку оптимальних рішень залежить від критерію оптимальності. Як показують дослідження, при оптимізації за критерієм мінімуму витрат часу на розгон електрохода T_{\min} коефіцієнт k_4 рівняння (1) повинен залишатися постійним і рівним $k_4=5$. Пошуки оптимальних законів управління слід здійснювати за другим рівнянням системи (1) при різних значеннях $\alpha_{\text{уст}}$ (т.е. для різних положень органу управління). Метою дослідження є отримання оптимальних законів управління для всіх електроходів розглянутого класу, т.е. для судів з теоретично будь-яким набором значень (в допустимій області) параметрів пропульсивного комплексу. Кількість параметрів, що впливають на оптимальні закони управління велика [7]. Дослідження, проведені методами отсеивающих експериментів, дозволили виявити з усієї їх сукупності значимі параметри, зміна значень яких суттєво скажується на виборі законів управління. Їми оказались безрозмірні:

$$C_{M16} = \frac{\beta_{M0}}{r_M^2} \left[(b_M^2 + c_M^2 \alpha_0^2) + (d_M^2 + e_M^2 \alpha_0^2) \frac{r_{2M}^2}{\beta_{M0}} + 2r_{1M} \alpha_0 \frac{r'_{2M}}{\beta_{M0}} \right];$$

$$C_{G7} = \frac{K_{GE} W_{GV}}{E_{G0}} \omega_{D0} I_{GV0}; \quad C_{G3} = \frac{E_{G0}}{U_{G0}};$$

$$C_{G11} = \frac{2I_{M0} X_{G0}}{E_{0G0}},$$

Таблиця 1 – Сочетания значений значимых параметров и оптимальные по критерию t_{\min} решения

Вариант (кривая)	Значения значимых параметров комплексов					Оптимальные решения		
	$\alpha_{\text{уст}}$	C_{M16}	C_{G7}	C_{G3}	C_{G11}	k_1^*	k_2^*	t_{\min}^*
1	0,6	4,16	1,5	1,01	0,12	2,056	-0,087	9,69
2	1	4,16	1,5	1,01	0,12	1,638	-0,100	8,26
3	0,6	7,15	1,5	1,01	0,12	2,050	-0,087	8,21
4	1	7,15	1,5	1,01	0,12	1,663	-0,094	5,15
5	0,6	14,1	1,5	1,01	0,12	2,063	-0,100	7,48
6	1	14,1	1,5	1,01	0,12	1,75	-3,094	4,65
7	0,6	4,16	1,72	1,01	0,12	2,094	-0,1	9,7
8	1	4,16	1,72	1,01	0,12	1,737	-0,094	8,25
9	0,6	7,16	1,72	1,01	0,12	2,094	-0,1	8,21
10	1	7,5	1,72	1,01	0,12	1,775	-0,1	5,15
11	0,6	14,1	1,72	1,01	0,12	2,094	-0,014	7,48
12	0,85	14,1	1,72	1,01	0,12	1,819	-0,10	9,69
13	0,6	4,16	1,91	1,01	0,12	2,219	-0,094	9,69
14	1	4,16	1,91	1,01	0,12	1,969	-0,094	7,64
15	0,6	7,15	1,91	1,01	0,12	2,219	-2,094	8,71
16	1	7,15	1,91	1,01	0,12	1,981	-0,10	5,46
17	0,6	14,1	1,91	1,01	0,12	2,219	0,087	7,57
18	1	14,1	1,91	1,01	0,12	1,915	0,037	4,69
19	0,6	4,16	1,5	1,017	0,12	2,044	-0,094	9,69
20	1	4,16	1,5	1,017	0,12	1,713	-0,094	7,62
21	0,6	7,15	1,5	1,017	0,12	2,044	-0,094	8,20
22	1	7,15	1,5	1,017	0,12	1,719	-0,094	5,44
23	0,6	14,05	1,5	1,017	0,12	2,044	-0,094	7,57
24	1	14,05	1,5	1,017	0,12	1,731	-0,10	4,66
25	0,6	4,6	1,72	1,017	0,12	2,039	-0,094	9,09
26	1	4,16	1,72	1,017	0,12	1,756	-0,094	7,63
27	0,6	7,5	1,72	1,017	0,12	2,069	-0,10	8,21

де β_{M0} – абсолютне скозження ротора; r_{1M} – активне опротивлення статора; r_{2M} – приведенне активне опротивлення ротора; b_M, c_M, d_M, e_M – постійні коефіцієнти частотно-управляемого асинхронного електродвигателя; ω_{D0} – кутова швидкість вращення первичного двигателя; I_{GV0} – ток возбуждения синхронного генератора; K_{GE} и W_{GV} – конструктивные параметры генератора; E_{G0} – продольная составляющая результирующей э.д.с. генератора; U_{G0} – напряжение на выходе генератора; E_{0G0} – ЭДС намагничивания генератора; X_{G0} – реактивное сопротивление генератора; I_{M0} – ток электродвигателя. (Индекс «0» здесь и далее относится к базовому режиму работы, соответствующему движению судна по спокойной глубокой воде с номинальной мощностью двигателей.)

Для всех вариантов сочетаний этих параметров были проведены расчеты и найдены оптимальные законы управления ГЭД вида (1).

В качестве примера, в табл. 1 приведен небольшой фрагмент возможных вариантов сочетаний этих параметров из расчета их варьирования на трех (минимальном, среднем и максимальном), а $\alpha_{\text{уст}}$ – на двух (среднем и максимальном) уровнях (при средних значениях параметров $C_{G11} = 0,12$ и $C_{G3} = 1,01$). На рис. 1 приведены оптимальные законы управления (в соответствии с найденными $k^* = [k_0, k_1, \dots, k_4]$) гребными электродвигателями $\gamma^* = \gamma(\alpha)$ для отдельных вариантов сочетаний этих параметров.

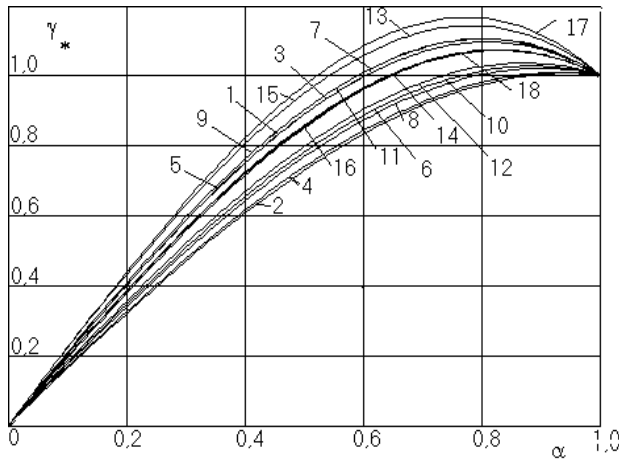


Рис. 1 – Оптимальные по критерию t_{min} законы управления при $C_{G3}=1,01$

С изменением целевой функции меняется стратегия поиска оптимальных решений. При оптимизации по критериям W_{min} и $P_{em min}$ поиск оптимальных решений необходимо производить по обоим уравнениям системы (1), т.е. и по частоте $\alpha = \alpha(t)$, и по напряжению $\gamma = \gamma(\alpha)$. Часть результатов проведенных оптимизационных расчетов представлена на рис. 2.

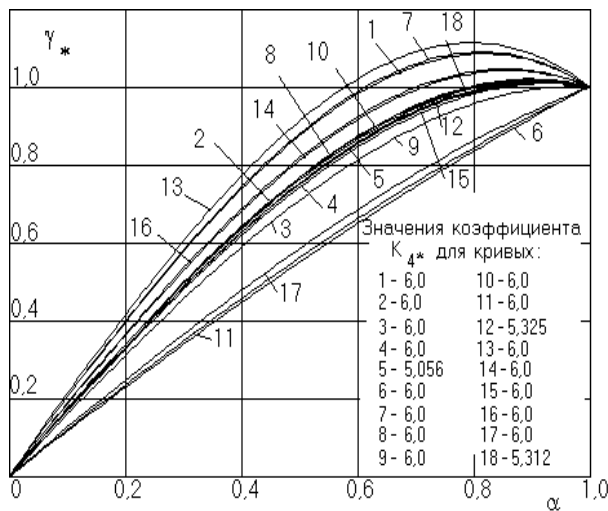


Рис. 2 – Оптимальные по критерию $P_{em min}$ законы управления при $C_{G3}=1,017$

Здесь показаны оптимальные законы управления $\gamma^* = \gamma(\alpha)$ и оптимальные значения коэффициента k_4 при оптимизации по критерию $P_{em min}$ при значении коэффициента $C_{G3} = 1,017$. Обозначения кривых соответствуют табл. 1.

Как видно из рисунков, с переходом к «электрическому» критерию оптимальности – $P_{em min}$ – оптимальные законы управления при больших значениях C_{M16} начинают все больше приближаться к «классическим» законам.

Реверс электрохода. Реверс состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляется динамическое торможение гребных электродвигателей подачей в цепь статора

постоянного напряжения. С момента перехода угловой скорости вращения ГЭД через нулевое значение начинается второй этап реверса – ГЭД вновь переходит в режим частотного управления. Система управления гребной установкой электрохода формирует на этом режиме, как и при разгоне электрохода, два независимых управляющих сигнала: по частоте – $\alpha = \alpha(T)$ и по напряжению – $\gamma = \gamma(\alpha)$. Они могут быть представлены в виде:

$$\alpha = \alpha_n + (\alpha_{уст.} - \alpha_n)(1 - \exp(-k_4 t^*)); \quad (6)$$

$$\gamma = k_1 \alpha + k_2 \alpha^2 + (1 - k_1 - k_2) \alpha^3. \quad (7)$$

В уравнении (6) α_n – начальное значение относительной частоты питающего ГЭД напряжения (ненулевое значение α_n необходимо для реализации процесса торможения и реверса гребного винта).

При маневрировании переключки рукоятки ПУ может осуществляться в различное положение. Поэтому $\alpha_{уст.}$ необходимо рассматривать как варьируемый параметр, а оптимизацию управления осуществлять по относительному напряжению $\gamma = \gamma(\alpha)$.

Задача по своей постановке очень широкая. Попытаемся найти оптимальные законы управления гребными электродвигателями при реверсе по критерию минимального минимума затрат энергии (топлива) на выполнение маневра и сравним результаты оптимизации с рекомендуемым "классическим" пропорциональным законом управления.

В качестве примера, ниже приведены результаты поисков оптимальных законов управления гребными электродвигателями для реализации такого торможения.

Проведенные расчеты влияния различных факторов на затрат энергии W_{min} показали, что существенными из них являются $\alpha_{уст.}$ и безразмерные параметры C_{G7} , C_{M16} , C_{M20} , N_X . Параметры C_{M20} и N_X вычисляются по выражениям:

$$C_{M20} = \frac{\omega_{M0}}{\omega_{1MN}};$$

$$N_X = \frac{L \cdot P_{e0}}{(m + \lambda_{11}) v_0^2},$$

где ω_{M0} и ω_{1MN} – угловые скорости вращения двигателя и магнитного поля статора при номинальной частоте; L , m и λ_{11} – длина судна, его масса и присоединенные массы воды вдоль продольной оси судна; P_{e0} – полезный суммарный упор гребных винтов.

Небольшая часть возможных вариантов сочетаний значимых параметров (по сути – это различные суда) приведена в табл. 2.

Оптимальные решения по каждому варианту сочетаний, а также значения показателя качества W_{man} при рекомендуемом [2] для гребных электроприводов классическом ($\gamma/\alpha = const$) законе управления – $W_{кл.}$ – приведены в табл.3 и на рис. 3.

Таблица 2 – Сочетания значений значимых по критерию W_{min}^* параметров

Вариант (кривая)	Значения значимых параметров				
	$\alpha_{уст.}$	C_{G7}	C_{M20}	C_{M16}	N_x
1	0,5	1,68	0,6	10	0,13
2	0,8	1,68	0,6	10	0,13
3	0,5	1,72	0,6	10	0,13
4	0,8	1,72	0,6	10	0,13
5	0,5	1,76	0,6	10	0,13
6	0,8	1,76	0,6	10	0,13
7	0,5	1,68	0,75	10	0,13
8	0,8	1,68	0,75	10	0,13
9	0,5	1,72	0,75	10	0,13
10	0,8	1,72	0,75	10	0,13
11	0,5	1,76	0,75	10	0,13
12	0,8	1,76	0,75	10	0,13
13	0,5	1,68	0,9	10	0,13
14	0,8	1,68	0,9	10	0,13
15	0,5	1,72	0,9	10	0,13
16	0,8	1,72	0,9	10	0,13
17	0,5	1,76	0,9	10	0,13
18	0,8	1,76	0,9	10	0,13

Таблица 3 – Оптимальные решения по критерию W_{min}^*

Вариант (кривая)	Оптимальные решения			$W_{кл}$
	k_{1*}	k_{2*}	W_{min}^*	
1	1,80	-0,075	11	19
2	1,075	-2,5	39	39
3	1,825	-0,075	11	18
4	3,284	-4,23	38	39
5	1,85	-0,15	11	18
6	1,0	-0,475	38	38
7	2,35	-0,100	6,8	15
8	3,20	-7,25	33	34
9	3,830	-4,46	6,6	15
10	3,20	-7,20	33	34
11	2,40	-0,075	6,6	15
12	3,620	8,095	32	33
13	2,325	-0,075	5,5	13
14	1,17	-2,52	27	29
15	2,35	-0,075	5,5	12
16	1,144	-2,48	27	29
17	2,375	-0,05	5,4	13
18	0,975	-0,975	26	28

Оптимальные законы управления $\gamma^* = \gamma(\alpha)$ при $C_{M16} = 10,05$ показаны на рис. 3. Они существенно отличаются от классических законов управления. Сравнение результатов расчета реверса ГЭД электрохода с управлением по "классическому" и оптимальным законам показало следующее.

С переходом к оптимальному управлению ГЭД затраты энергии (затраты топлива) на выполнение маневра резко падают. Существенное влияние на этот показатель оказывает интенсивность выполнения маневра. При "ненапряженном" реверсе ($\alpha = 0,5$)

правильный выбор законов управления позволяет снизить затраты топлива на выполнение маневра в среднем до 57 %.

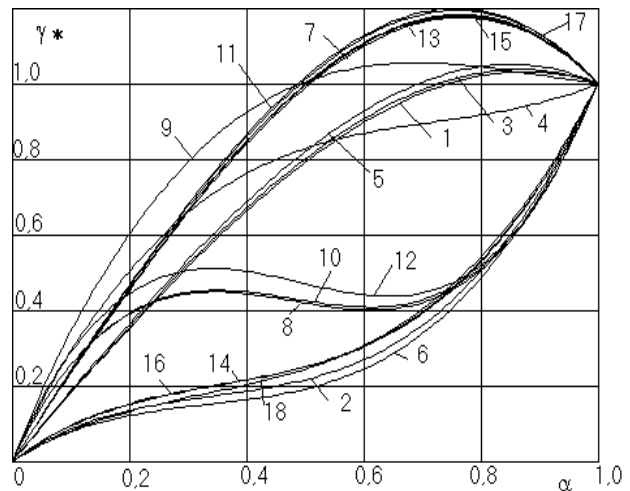


Рис. 3 – Оптимальные по W_{min} законы управления при реверсе гребного электродвигателя

Выводы. 1. Разработанный метод оптимизации позволяют решать задачи оптимизации законов управления асинхронными частотно-управляемыми гребными электродвигателями судов с электродвижением, а системный подход обеспечивает поиск оптимальных законов управления, обеспечивающих повышение эффективности эксплуатации всего пропульсивного комплекса электрохода.

2. Проведенные исследования и полученные результаты наглядно показывают, что переход от одного иерархического уровня оптимизации к другому, изменение критериев оптимальности существенно влияют на оптимальные решения. Оптимальное управление гребными электродвигателями способствует повышению маневренных качеств судов электроходов.

3. Полученные результаты наглядно показывают эффективность предложенного способа формирования управляющих сигналов по сравнению с рекомендуемыми классическими законами управления.

4. Предложенные рекомендации позволяют достаточно просто находить оптимальные законы управления гребными электродвигателями. Для этого необходимо для любого конкретного судна рассчитать (по приведенным выше несложным соотношениям) численные значения соответствующих безразмерных параметров и отыскать по рисункам нужные кривые. При отличающихся значениях параметров можно воспользоваться любым интерполяционным методом.

Список литературы

1. Туганов М.С. Бесконтактный судовый электропривод / М.С. Туганов. -- Л.: Судостроение, 1972. – 344 с.
2. Горбунов Б.А. Современные и перспективные гребные электрические установки судов / Б.А. Горбунов, А.С. Савин, В.В. Сержантов – Л. : Судостроение, 1979. – 180с.
3. Флацбаум Д.И. Методы выбора варианта судовых ЭЭС на основании комплексных технико-экономических оценок /

- Д.И. Флацбаум // Судостроительная промышленность. Сер. Судовая электротехника и связь.– 1989. – Вып.10. – С. 3–11.*
4. Яровенко В.А. Математическая модель переходных режимов работы силовых установок электроходов / В.А. Яровенко // 36. наук. пр. УДМТУ. – 1999. – № 4 (364). – С. 44–54.
 5. Яровенко В.А. Методы поиска оптимальных решений при проектировании энергетических установок электроходов / В.А. Яровенко // 36. наук. пр. УДМТУ. – 2000. – № 1 (367). – С. 29–36.
 6. Яровенко В.А. Системный подход в проектировании гребных электрических установок электроходов / В.А. Яровенко, Е.И. Зарицкая // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – 2015. – № 5 (1114) – С. 102–108.
 7. Яровенко В.А. Влияние параметров пропульсивных комплексов на показатели качества работы силовых установок электроходов на маневрах / В.А. Яровенко // 36. наук. пр. УДМТУ. – 1999. – № 3 (363). – С. 79–87.
- References (transliterated)**
1. Tuganov, M.S. *Beskontaktnii sudovoi elektropriwod* [Contactless electric drive of ship]. Lenindrad. Sudostroenie, 1972. 344 p.
 2. Gorbunov, B.A., A.S. Savin and V.V. Serzhantov. *Sovremennye i perspektivnye grebnye jelektricheskie ustanovki sudov* [Modern and perspective rowing electrical installation of ships]. Lenindrad. Sudostroenie, 1979. 180 p.
 3. Flacbaum D.I. *Metody vybora varianta sudovyh JES na osnovanii kompleksnyh tehniko-jekonomicheskikh ocenok* [Methods of selection options ship EPS based on complex technical and economic assessments]. *Sudostroitel'naja promyshlennost' Ser.: Sudovaja jelektrrotehnika i svjaz'*. 1989. vol. 10, pp. 3–11.
 4. Jarovenko V.A. *Matematicheskaja model' perehodnyh rezhimov raboty silovyh ustanovok jelektrohodov* [A mathematical model of transient modes of propulsion electric vessels]. *Zb. nauk. pr. UDMTU* [Proceedings of USMTU]. Mykolayiv. 1999. no 4 (364). pp. 44–54.
 5. Jarovenko, V.A. *Metody poiska optimal'nyh reshenij pri proektirovanii jenergeticheskikh ustanovok jelektrohodov* [Methods of search for optimal solutions in the design of power systems electric vessels]. *Zb. nauk. pr. UDMTU* [Proceedings of USMTU]. Mykolayiv. 2000. no 1 (367). pp. 29–36.
 6. Jarovenko, V.A. and Zaritskay E. I. *Spstemny podhod v proektirovanii grebnih elektricheskikh ustanovok elektrohodov* [System approach to design of electrical installations electric vessels rowing]. *Visnik NTU "HPI". Seriya: Elektrichni mashini ta elektromehaniche peretvorennja energii* [Bulletin of the NTU "KPI". Special Edition: Electrical machines and electro-mechanical energy conversion] Kharkov. 2015. no. 5 (1114), pp. 102–108.
 7. Jarovenko, V.A. *Vlijanie parametrov propul'sivnyh kompleksov na pokazateli kachestva raboty silovyh ustanovok jelektrohodov na manevrah* [Influence of parameters of propulsion systems on indicators of performance propulsion electric vessels on maneuvers]. *Zb. nauk. pr. UDMTU* [Proceedings of USMTU]. Mykolayiv. 1999. no. 3 (363). pp. 79–87.

Поступила (received) 04.07.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Управление гребными двигателями электроходов на маневрах / В. О. Яровенко, О. И. Зарицкая // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С. 36–41. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2409-9295.

Управление гребными двигателями электроходов на маневрах / В. А. Яровенко, Е. И. Зарицкая // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С. 36–41. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2409-9295.

Control of electric vessels' propulsion motors on maneuvers / V.A. Yarovenko, E.I. Zaritskaya // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 11 (1183). – P. 36–41. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2409-9295.

Відомості про авторів / «Сведения об авторах / About the Authors»

Яровенко Володимир Олексійович, доктор технічних наук, професор, Одеський національний морський університет, завідувач кафедри експлуатації судового електрообладнання і засобів автоматики, (050)598-06-83; e-mail: yarovenko@3g.ua

Яровенко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Одесский национальный морской университет, заведующий кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики, (050)598-06-83; e-mail: yarovenko@3g.ua

Yarovenko Vladimir Alecseevich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Odessa National Maritime University, Chair of the Department of exploitation of ship's electrical equipment and means of automation, +38 (050)598-06-83; e-mail: yarovenko@3g.ua

Зарицкая Елена Игоревна, кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри експлуатації судового електрообладнання і засобів автоматики, (093)368-49-16; e-mail: zarickayalena74@mail.ru

Зарицкая Елена Игоревна, кандидат технических наук, доцент, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики, (093)368-49-16; e-mail: zarickayalena74@mail.ru

Zaritskaya Elena Igorevna, Candidate of Technical Sciences, Odessa National Maritime University, Associate Professor of the Department of exploitation of ship's electrical equipment and means of automation, +38 (093)368-49-16; e-mail: zarickayalena74@mail.ru