

Голиков С. П.

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТРАЛОВОЙ ЛЕБЕДКИ

В статье рассматривается задача поиска оптимального управления электроприводом траловой лебедки. Критерием оптимизации является минимум затрачиваемой энергии. Основным результатом исследования является методика расчета коэффициента усиления электропривода траловой лебедки при намотке ваера на барабан при учете изменения радиуса намотки и момента инерции барабана.

**Ключевые слова:** траловая лебедка, электропривод, коэффициент усиления.

### 1. Введение

Преобладающая часть мировой продукции рыболовства (70–75 млн. т) состоит из морских рыб, добываемых многочисленным рыболовным флотом (1170 тыс. единиц, тоннаж 25,4 млн. т). К 2025 году прогнозируется увеличение морских уловов до 130 млн. тонн и соответствующее увеличение количества рыболовных судов [1]. Современный рыбодобывающий флот превратился в мощный инструмент комплексного воздействия на морские экосистемы, что требует усиления мер по контролю и регулированию промысла с целью одновременного повышения промысловой эффективности и сохранения устойчивой сырьевой базы.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Большинство работ [2–5] в данной области ограничиваются исследованиями только траловой системы, с рассмотрением судна только в качестве источника энергии для буксировки трала. Процессы внутри propulsionного комплекса и приводе траловой лебедки остаются без внимания. Незначительное количество исследований [6, 7] посвящено анализу конструкций, характеристик и режимов работы траловых лебедок. Содержание этих работ фрагментарно и не дает окончательного решения задачи.

Целью проводимого исследования является разработка математического описания процессов, происходящих в приводе траловой лебедки в различных технологических режимах. В статье решается задача управления электроприводом траловой лебедки в режиме выборки ваеров и их укладки на барабан.

### 3. Результаты исследования

В реальных установках траловые лебедки сложные и энергоемкие механизмы с приводами мощностью до 600 кВт. Для их управления используются различные схемы передачи энергии от привода к барабану: электрогидравлическая передача, схема генератор-двигатель на постоянном токе и др. особенностью конструкции траловой лебедки является то, что в большинстве технологических режимов лебедка испытывает резкопеременный характер нагрузки, который определяется бортовой

и килевой качкой, вертикальными колебаниями судна, перемещениями трала и др. [8, 9]. Нельзя выпускать из внимания достаточно большие длины самих ваеров — до 1500 м. В связи с тем, что питание привода траловой лебедки осуществляется от автономной судовой электростанции, мощность которой часто соизмерима с мощностью электропривода лебедки, используются схемы управления, которые обеспечивают постоянство мощности лебедки:

$$N_n = M_n \cdot n_n = \text{const.}$$

Рассмотрим задачу поддержания постоянства мощности в режиме выборки трала при неизменном натяжении ваера без учета веса самого ваера. Данное допущение является достаточно грубым, но при рассмотрении поставленной задачи, как составляющей более глобальной задачи, допустимо.

Во время намотки радиус барабана условно увеличивается, что приводит к увеличению момента инерции барабана  $i(t)$ . Для поддержания постоянной линейной скорости намотки  $v(t)$  необходимо во время намотки уменьшать угловую скорость  $\omega(t)$  так, чтобы

$$v(t) = r(t)\omega(t) = v_0 = \text{const.},$$

где  $r(t)$  — текущий радиус намотки,  $v_0$  — заданная скорость намотки.

Уравнение движения барабана имеет вид:

$$\frac{d}{dt}[i(t)\omega(t)] = k_1 U(t) - k_2 \omega(t),$$

где  $U(t)$  — напряжение на входе электродвигателе,  $k_1$  — коэффициент пропорциональности между вращающим моментом двигателя и его входным напряжением,  $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{рад}}{\text{В} \cdot \text{с}}$ ,  $k_2$  — коэффициент трения вращения,  $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$ .

Управляющей величиной является  $U(t)$ , а выходной величиной  $\omega(t)$ . Определим зависимость  $r(t)$  и  $i(t)$  от времени при постоянной скорости намотки.

За время  $t_{\text{сл}}$ , необходимое для намотки одного слоя ваера радиус изменится от  $r_0$  до  $r(t_{\text{сл}})$  так, что

$$r^2(t_{\text{сл}}) - r_0^2 = k_3 v_0 t_{\text{сл}},$$

где  $k_3$  — коэффициент передачи привода.

При достаточно малом  $t_{ст}$ :

$$r(t) = \sqrt{r_0^2 + k_4 t},$$

где  $k_4$  — коэффициент, характеризующий массу привода.

Так как для круга радиуса  $R$  момент инерции пропорционален  $R^4$ , то

$$i(t) = i(0) + k_4 [r^4(t) - r^4(0)].$$

Номинальное значение  $\omega_{ном}(t)$  для угловой скорости определяется выражением  $\omega_{ном}(t) = v_0 r^{-1}(t)$ , а номинальное управляющее напряжение:

$$U_{ном}(t) = \frac{1}{k_1} \left[ \frac{d}{dt} (i(t)\omega_{ном}(t)) + k_2 \omega_{ном}(t) \right].$$

В теории устойчивости  $U_{ном}(t)$  и  $\omega_{ном}(t)$  [10] называют невозмущенными решениями. Для возмущенных значений соответствующих переменных:

$$x(t) = i(t)[\omega(t) - \omega_{ном}(t)], \quad u(t) = U(t) - U_{ном}(t),$$

получаем уравнение:

$$\dot{x}(t) = -k_2 i^{-1}(t)x(t) + k_1 u(t). \quad (1)$$

Критерий качества, подлежащий минимизации выбираем в виде:

$$J(u) = \int_0^T [(r(t)i^{-1}(t)x(t))^2 + k_5 u^2(t)] dt, \quad (2)$$

где  $k_5$  — нормирующий коэффициент,  $\frac{M^2}{B^2 \cdot c^2}$ .

Первое слагаемое в подынтегральном выражении в (1) пропорционально кинетической энергии вращающегося барабана, а второе — электрической энергии, расходуемой электродвигателем.

Таким образом, задача оптимального управления намоткой ваера сведена к линейно-квадратичной задаче с переменными коэффициентами. При этом управление, построенное по принципу обратной связи, дающее решение задачи (1), (2) имеет вид:

$$u(t) = -K(x)x(t), \quad K(t) = k_1 k_5^{-1} P(t).$$

Здесь  $P(t)$  есть решение уравнения Рикатти:

$$\begin{aligned} \dot{P}(t) - 2k_2 i^{-1}(t)P(t) - k_1^2 k_5^{-1} P^2(t) = \\ = -r^2(t) i^{-2}(t), \quad P(t) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Численное решение уравнения (3) при следующих значениях параметров:

$$i(t) = 0,02 + 66,67[r^4(t) - r^4(0)] \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)},$$

$$r(t) = \sqrt{0,6 + 0,004t} \text{ (м)}, \quad k_1 = 0,1, \quad \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{рад}}{\text{В} \cdot \text{с}} \right),$$

$$k_2 = 0,01, \quad \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} \right), \quad k_5 = 0,06, \quad \left( \frac{\text{М}^2}{\text{В}^2 \cdot \text{с}^2} \right),$$

дает возможность получить зависимость оптимального коэффициента усиления  $K(t)$  от времени для различных значений  $T$  (рис. 1).

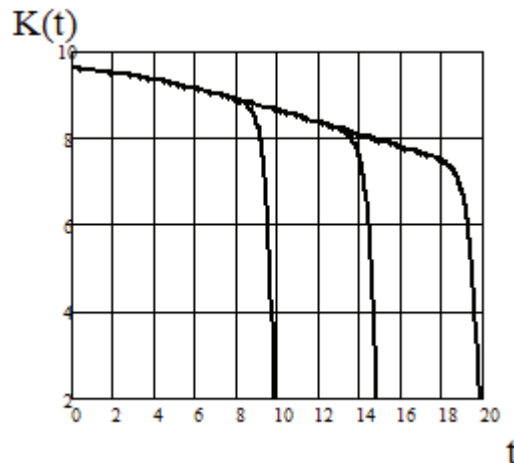


Рис. 1. Оптимальный коэффициент усиления

#### 4. Вывод

Оптимальный коэффициент усиления  $K(t)$  ведет себя одинаково при разных  $T$ , за исключением конечного участка времени. Определение данного коэффициента позволит строить системы автоматизации с учетом минимизации расхода энергии и повышения эффективности эксплуатации промысловых судов [11].

#### Литература

1. Голиков, С. П. Проблемы и задачи автоматизации тралового лова [Текст] / С. П. Голиков, Н. П. Сметюх, О. С. Скидан // Збірник наукових праць всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». — 2013.
2. Карпенко, В. П. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства [Текст] / В. П. Карпенко, С. С. Торбан. — М.: Агропромиздат, 1990. — 464 с.
3. Черепанов, Б. Е. Лебедки рыболовных траулера [Текст] / Б. Е. Черепанов. — Мурманск: Полярная правда, 1966. — 358 с.
4. Ольховский, В. Е. Математические основы процесса вывода трала на глубину погружения косяка [Текст] / В. Е. Ольховский, А. В. Соколов, В. И. Яковлев // Рыбное хозяйство. — 1976. — № 12. — С. 51–55.
5. Альтшуль, Б. А. Динамика траловой системы [Текст] / Б. А. Альтшуль, А. Л. Фридман. — М., 1990. — 240 с.
6. Быховский, Ю. И. Электроприводы траловых лебедок [Текст] / Ю. И. Быховский, Е. А. Шенцев. — М.: Пищ. пром-сть, 1981. — 208 с.
7. Батяев, А. А. Оптимальное управление электроприводом траловой лебедки [Текст] / А. А. Батяев, Ю. П. Петров // Известия высших учебных заведений. — 1969. — № 9. — С. 996–1001.
8. Голиков, С. П. Математическое моделирование элементов тралового комплекса [Текст] / С. П. Голиков, Н. В. Ивановский, С. Г. Черный, Н. П. Сметюх, О. С. Скидан // Водный транспорт. — К.: КДАВТ, 2013. — № 2(17). — С. 181–190.
9. Трунин, К. С. Динамика системы «судно — траловая лебедка — ваер — трал» [Текст] / К. С. Трунин // Динамика и прочность судовых машин» / Николаев. — 1981. — Вып. 182. — С. 36–43.
10. Петров, Ю. П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничения по нагреву [Текст] / Ю. П. Петров — Л.: Энергия. — 1971. — 144 с.

11. Кирильчев, А. А. Решение задачи нормирования ходового времени и расхода топлива морского судна [Текст] / А. А. Кирильчев, Н. В. Ивановский, С. П. Голиков, Д. Г. Куценко, В. А. Зеленцов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 6/3(60). — С. 28–32.

#### ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТРАЛОВОЇ ЛЕБІДКИ

У статті розглядається задача пошуку оптимального керування електроприводом тралової лебідки. Критерієм оптимізації є мінімум затрачуваної енергії. Основним результатом дослідження є методика розрахунку коефіцієнта посилення електроприводу тралової лебідки при намотуванні ваєра на

барабан при врахуванні зміни радіуса намотування і моменту інерції барабана.

**Ключові слова:** тралова лебідка, електропривод, коефіцієнт підсилення.

*Голиков Сергей Павлович, кандидат технических наук, доцент, декан морского факультета, Керченский государственный морской технологический университет, Украина.*

*Голиков Сергей Павлович, кандидат технических наук, доцент, декан морского факультета, Керченский государственный морской технологический университет, Украина, e-mail: golosaa@mail.ru.*

*Golikov Sergej, Kerch State Maritime Technical University, Ukraine, e-mail: golosaa@mail.ru*

УДК 004.9:517.978.2

Грицук Р. В.

## МЕТОДОЛОГІЯ ПОВБУДОВИ БАГАТОКРИТЕРІЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ІГРОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ

*У роботі запропоновано методологію синтезу та аналізу багатокритерійних диференціально-ігрових моделей та методів моделювання процесів кібернападу. Результати методології відображаються як у кількісній, так і якісній формі, що не суперечить основним положенням теорії складних систем. Застосування методології сприяє процесу інтеграції прогресивних систем інформаційної безпеки в новостворювані інформаційні технології.*

**Ключові слова:** процес кібернападу, рівень захищеності, багатокритерійна диференціально-ігрова модель, інформаційний ресурс.

### 1. Вступ

Питання, що розглядаються в роботі, відносяться до галузі інформаційної безпеки. Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу на початку XXI сторіччя в галузі інформаційних технологій (ІТ) пов'язаний з повсюдним впровадженням їх у всі сфери діяльності сучасного суспільства будь-якої розвиненої держави світу. Високі темпи інформатизації українського суспільства та державних інститутів сприяють подальшому зростанню ролі й місця кіберпростору в питаннях забезпечення національної безпеки в інформаційній сфері.

### 2. Постановка проблеми

Кіберпростір на сьогодні виступає системоутворюючим чинником, безпека якого не в останню чергу визначає рівень інформаційної безпеки (ІБ) держави. Масова доступність ІТ відкриває широкі можливості щодо здійснення несанкціонованого доступу (НСД) до державних інформаційних ресурсів (ІР) як неавторизованим користувачам, так і злочинним угрупованням, чим створює передумови для виникнення загроз безпеці інформації у національному сегменті кіберпростору в інформаційній сфері [1]. Протидія таким загрозам є принциповим аспектом укріплення стратегічної стабільності держави та її ІБ [2]. Саме тому потребують перегляду діючі концепції побудови систем ІБ (СІБ) та стратегій їх ефективного застосування.

### 3. Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–7] дозволив встановити один з пріоритетних напрямків підвищення рівня захищеності (РЗ) ІР зокрема, та подальшої стабілізації ІБ держави в цілому. Він полягає в якісно новому вирішенні проблеми ІБ держави шляхом створення сучасних методів та засобів захисту інформації (ЗІ) від кібернападу (КБн), що реалізують НСД до ІР інформаційно-телекомунікаційних систем. Так, вагомі наукові результати при вирішенні проблеми ІБ держави та розкритті окремих її складових одержано в наукових працях [1, 2, 8, 9] та ін., але незважаючи на це проблема залишається актуальною не тільки для України, а й для усєї світової спільноти.

Виходячи з єдиних системних позицій [10] та потреби реалізації комплексного підходу до побудови прогресивних СІБ на сучасному етапі розвитку науки і техніки існує об'єктивне протиріччя між високими вимогами, що висуваються до забезпечення захищеності ІР в умовах інформаційного конфлікту (ІК) під час реалізації процесів КБн, та принциповою неможливістю їх виконання на базі сучасної практики ЗІ, яка ґрунтується на застарілих моделях і методах, більшість з яких є однокритерійними. Однокритерійність, як наслідок, породжує проблему підвищення достовірності отримуваних результатів та адекватності розроблюваних моделей. У зв'язку з цим, у статті переслідуються мета щодо розробки відповідної методології синтезу та аналізу багатокритерійних моделей та методів моделювання