

## PROBLEM OF COORDINATE CONTROL OF COMPLEX ELECTROMECHANICAL SYSTEM

A. Omelchuk, U. Lebedenko, G. Rudakova  
*Kherson National Technical University*

---

**Key words:**

Coordinated control  
Multi-machine drive  
Electromechanical system  
Perturbation  
Mathematical model  
Slipway

---

**ABSTRACT**

The article describes the analysis of reasons that cause the incoordinate movement of trolleys in complex electromechanical system of the slipway. It is shown that the acknowledgement of identified factors in the control actions formation can increase the efficiency of complex electromechanical systems such as a slipway.

---

**Article history:**

Received 20.12.2012  
Received in revised form  
17.02.2013  
Accepted 16.03.2013

---

**Corresponding author:**

E-mail:  
*kalveen\_ryo@mail.ru*

---

## ПРОБЛЕМИ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ СКЛАДНОЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

А.А. Омельчук Ю.О. Лебеденко, Г.В. Рудакова  
*Херсонський національний технічний університет*

*У роботі проведено аналіз причин, що призводять до неузгодженості руху візків в складній електромеханічній системі спуску судна на воду. Показано, що урахування виявлених факторів при формуванні керуючих впливів може привести до підвищення ефективності функціонування складної електромеханічної системи типу сліпа.*

**Ключові слова:** *узгоджене керування, багатомашинний привод, електромеханічна система, збурюючі впливи, математична модель, сліп.*

Останнім часом промислові підприємства все частіше стикаються з проблемою модернізації виробництва з метою підвищення конкурентоспроможності. Технологічне обладнання на них, найчастіше, являє собою складні електромеханічні системи, такі як багатомашинні конвеєри і багатопровідні підйомні механізми. Ці системи характеризуються великою кількістю багатозв'язних параметрів, що ускладнює їх моделювання, аналіз і, в решті-решт, синтез високоефективних керуючих алгоритмів. Підвищення ефективності керування складними електромеханічними системами є важливою науково-технічною задачею.

При керуванні різного роду електромеханічними системами, що складаються з групи ідентичних об'єктів (паралельних агрегатів), таких як електричні генератори і двигуни, електроприводи багатомашинних систем і наземного транспорту, виникає завдання узгодженого керування. Умова узгодження задається у вигляді тотожностей [1]

$$y_1 = y_2 = \dots = y_m, \quad (1)$$

а узагальнений вихід системи визначається як середнє арифметичне значення

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_m}{m}. \quad (2)$$

Рівняння (1) описує лінійне підпростір, всі траєкторії на якому асоціюються з бажаним узгодженим рухом системи. У випадках, коли електроприводи пов'язані через загальний розподілений об'єкт керування, виникають дещо більш складні завдання узгодження роботи двигунів. До такого класу багатоприводних систем, з узгодженим керуванням, відноситься система спуску судна на воду — сліп.

Сліп — це підйомно-спускове спорудження для керованого механізованого підйому і спуску суден на судновізних візках по рейкових шляхах, покладеним на похилій площині. На рис. 1 приводиться функціональна схема поперечного сліпа. Конкретним прикладом для досліджень може послужити сліп АТ «Суднобудівний завод «Залив». Сліп включає в себе ряд спускових візків (В1-В10), кожен з яких, через редуктор (Р1-Р10) приводиться в рух своїм електродвигуном (Д1-Д10) за допомогою сталевого троса. Контроль над узгодженим рухом візків здійснює система керування (СК).

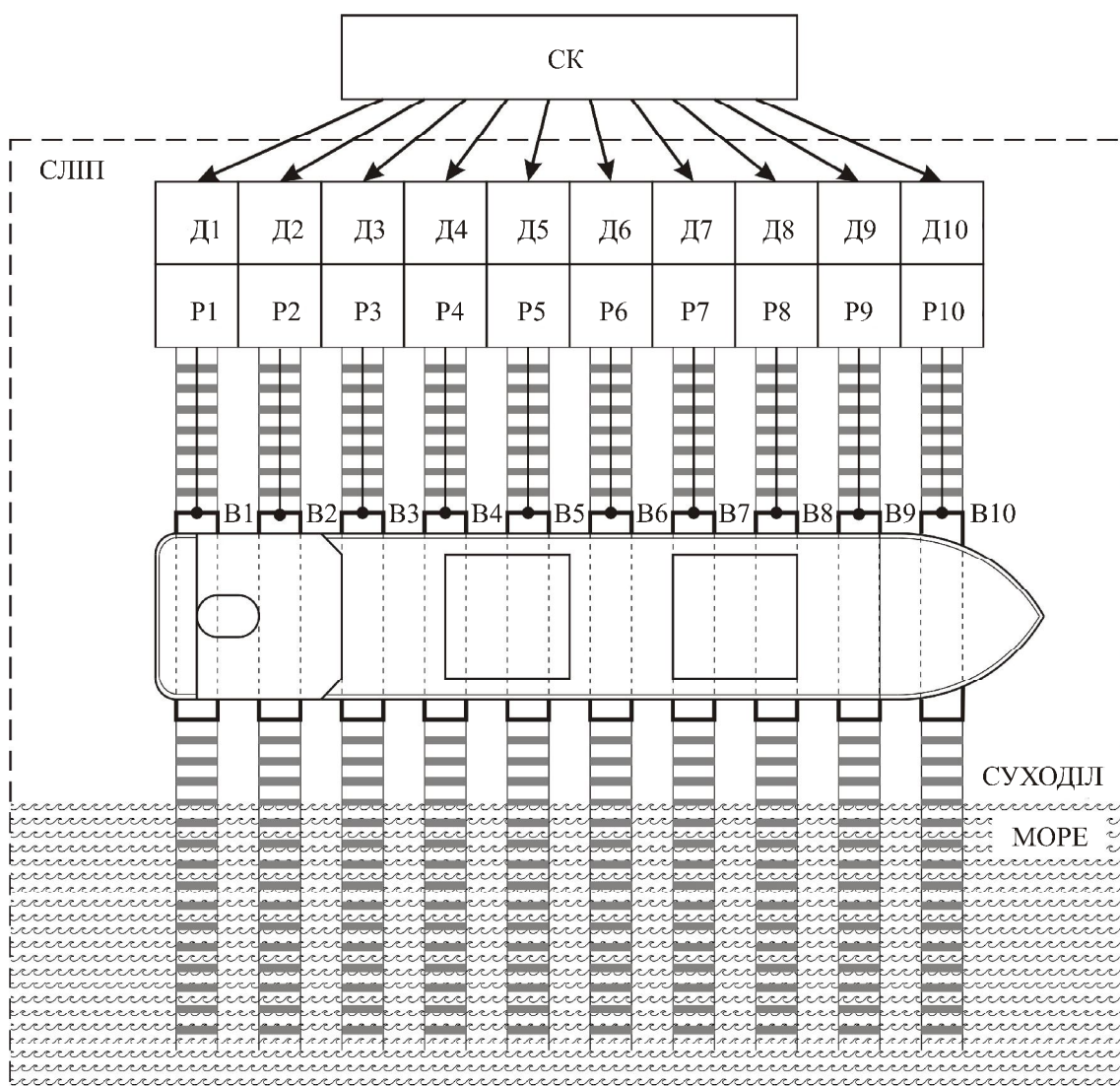


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного спуску судна на воду

Основною проблемою при спуску судна зі стапеля за допомогою сліпу є те, що різне навантаження на спускові візки призводить до неузгодженості їх руху. Крім цього, існує чимало факторів, які, змінюючись навіть в припустимих межах, здатні чинити негативний вплив на весь процес роботи сліпа. Існує ризик перекосу судна під час спуску, який може призвести до надмірного додаткового навантаження як на сам корпус судна, так і на окремі візки, і спровокувати розрив тросів, що їх утримують, або схід самих візків з рейок.

Існуючі системи керування сліпом обмежуються лише контролем швидкості руху візків, не відстежуючи всіх впливів, що діють на систему. Керування носить ступінчастий характер через те, що ведеться за допомогою введення/виведення опорів в колах фазних роторів асинхронних електродвигунів лебідок, обмежуючи таким чином свою «гнучкість» [2].

Для модернізації електромеханічної системи сліпа можна, крім вимірювання швидкості руху візків, вимірювати і силу струму на окремих електродвигунах системи, в якості приводних двигунів використовувати асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, керовані перетворювачами частоти [3]. Нові підходи до організації складних електромеханічних систем і алгоритмів керування ними можуть дати змогу зменшити час регулювання і збільшити зносостійкість системи за рахунок врахування додаткових збурюючих впливів.

Метою дослідження є аналіз причин, що призводять до неузгодженості руху візків в складній електромеханічній системі спуску судна на воду, і виявлення факторів, які необхідно врахувати для підвищення ефективності керування даною системою.

Особливістю складної електромеханічної багатоприводної системи сліпу є взаємовплив приводів спускових візків, який необхідно врахувати при керуванні процесом спуску. На рис. 2 показаний загальний вигляд судового візка, де: 1 — корпус судна, встановленого на візок; 2 — дерев'яні бруси, що підкладаються під судно; 3 — корпус судового візка; 4 — трос; 5 — барабан, на який намотується трос; 6 — рейки; 7 — ряд металевих коліс візка.

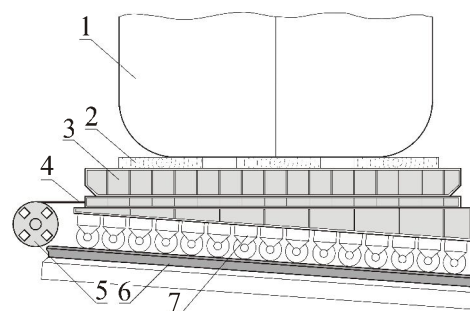


Рис. 2. Судновізний візок з встановленим на ньому судном

Рух візків супроводжується їх власним неузгодженням і, відповідно, змінами натягів тросів, діаметрами барабанів у міру змотування з них тросів, режимів роботи приводних електродвигунів, змінами характеристик системи при переході з «надводної» в «підводну» частину. В результаті, на рух візків впливає одразу декілька чинників.

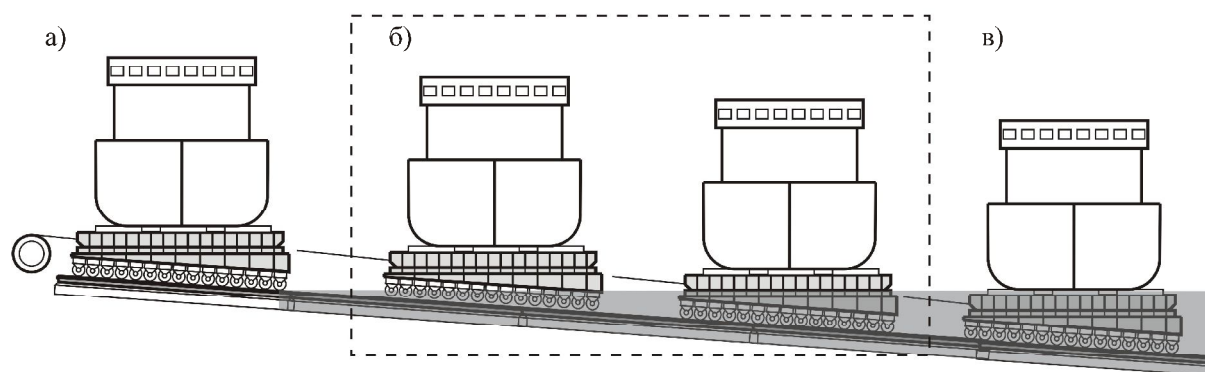
З огляду на те, що неузгодженість руху візків моментально позначається на тросах, що їх утримують, є доцільним контролювати їх натяг. Так само варто відзначити, і зворотну залежність — стан самих тросів може позначитися на узгодженості керування рухом. Щоб врахувати вплив тросів на роботу системи, необхідно знати межі зміни довжини троса внаслідок його розтягування під навантаженням. Відносно подовження сталевих тросів в залежності від ступеня допустимого зносу варіюється від 2 % до 3 %, тобто абсолютне подовження тросів у системі при максимальній довжині в 70 м може сягати близько 1 м.

Вплив намотувального барабана визначається поступовими змінами його діаметра, а також наявністю укладальника тросу. Таким чином, збільшення або зменшення діаметра барабана носить нелінійний характер. Від діаметра барабана залежить плече сили тяжіння, з якою об'єкт (візок і частина судна, що встановлена на ньому) впливає на барабан, редуктор і приводний електродвигун. Ступенева зміна діаметра барабана також може позначитися на точності вимірювання положення візків.

Приводні електродвигуни, будучи ключовою ланкою електромеханічної системи сліпу і основними органами керування, піддаються нерівномірному навантаженню при неузгодженості руху візків, що призводить до відхилення від їх номінального режиму роботи та, як наслідок, до скорочення їх робочого ресурсу та підвищення ймовірності

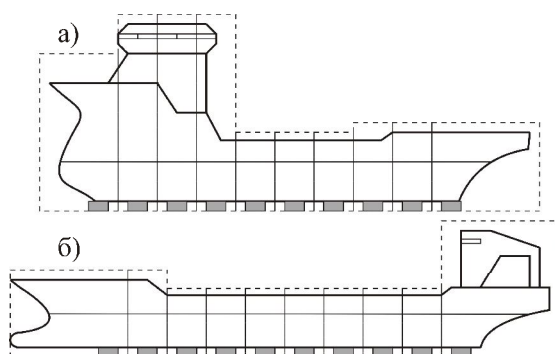
виходу двигуна з ладу. Ознакою перевантаження служить значення сили струму в колах електродвигунів: відстежуючи її, можна судити про навантаження, які діють на візки, і запобігти перевантаженню двигунів.

Навантаження на візки та електродвигуни можна контролювати побічно за допомогою датчиків тиску між судном і візком, або безперервно вимірюючи натяг троса. При зануренні візків і встановленого на них судна у воду на об'єкт керування починає діяти виштовхувальна сила Архімеда (рис. 3). Додаткові труднощі для цього етапу спуску створює те, що підводна частина сліпа знаходиться в більш складному стані, ніж надводна. Тиск судна на спускові візки знижується, через це знижується сила тертя між колесами візків і рейками. При цьому існує ділянка, де рейки вже піддаються негативному впливу солоної води, але вплив сили Архімеда ще неістотний, і тиск на візки і рейки, відповідно, не змінюється. Таким чином, ця частина підводної ділянки сліпа (рис. 3, б) є найбільш неоднорідною і схильною до аварій. Для забезпечення керування спуском, що проходить у воді, необхідно застосувати аналіз фізичних сил, які діють на систему до занурення об'єкта в воду і після. Тому для візків і судна доцільно проаналізувати сили тяжіння, тертя, тяги, реакції опори і сили Архімеда. Для зручності аналізу судно необхідно розбити на  $n$  сегментів (де  $n$  — число візків), щоб визначити вплив ваги судна на кожен візок окремо.



**Рис. 3. Етапи занурення у воду візків з судном**

До збурюючих впливів, які не можна виміряти за допомогою датчика, можна віднести вади в самій конструкції сліпа (дефекти залізничного полотна сліпу і спускових візків, просадка рейок) та відмінність типів суден, що підлягають спуску на воду і які мають різний розподіл ваги по всій довжині (рис. 4). Точне вимірювання швидкості та положення візків є ключовою проблемою складної електромеханічної системи сліпа. Наприклад, за допомогою індуктивних датчиків, встановлених на редукторах електродвигунів, вимірюючи швидкість обертання барабана, на який намотується трос, можна судити як про швидкість, так і про відстань, що була пройдена кожним окремим візком.



**Рис. 4. Приклад суден різної конструкції з різними пропорціями:**

а) судно забезпечення нафтових платформ; б) контейнеровоз

У сукупності, даних вимірювань повинно бути достатньо як для збору даних про роботу системи, так і безпосередньо для керування нею. Для забезпечення узгодженої роботи складної електромеханічної системи сліпа бачиться необхідним дослідження та моделювання процесу спуску судна на воду, розробка нових методів керування, а також проектування комп'ютеризованої системи

керування, яка в реальному часі буде здатна ідентифікувати параметри функціонування складної електромеханічної системи і нівелювати негативний вплив всіх факторів, що були описані вище, на систему сліпа.

При складанні моделі в якості вхідної регулюючої величини виступає частота напруги живлення двигуна  $F$ . Вихідною величиною є переміщення візка  $d$ . Збурюючий вплив являє собою додатковий момент на валу  $M$  (зі знаком «+» або «-») викликаний перевантаженням візка —  $m$ ; натягом троса —  $K$ , зміною діаметра барабана троса —  $r$ . Таким чином, переміщення спусковий візки можна представити як

$$d = f(F, r, m, K), \quad (3)$$

а критерієм оптимальності цілої системи буде:

$$\sum_{i=1}^m (d_i - \bar{d})^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $d_i$  — переміщення  $i$ -того візка,  $\bar{d}$  — максимальне переміщення серед  $d_i$ , тобто загальна взаємна неузгодженість візків повинна прагнути до мінімуму.

### Висновки

Підвищення ефективності функціонування складної електромеханічної системи типу сліп можливе шляхом урахування виявлених факторів в процесі формування керуючих впливів. Для цього необхідна розробка моделі, яку можна використати в комп'ютеризованій системі керування спуском судна на воду для ідентифікації стану системи і аналізу узгодженого руху багатопровідного об'єкта.

### Література

1. Андреев А.М. Моделирование системы управления слипом судостроительного завода / А.М. Андреев, Д.В. Кабаков // Вестник АГТУ, 2007, №2(37) — С. 141-143.
2. Якимчук Г.С. Теория автоматического управления электромеханическими системами : Навч. посіб. — Херсон: Олді-плюс, 2009. — 572 с.
3. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами // И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, А.Л. Фрадков — СПб.: Наука, 2000. — 550 с.

## ПРОБЛЕМЫ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

А. А. Омельчук, Ю. А. Лебеденко, А. В. Рудакова  
Херсонский национальный технический университет

*В работе проведен анализ причин, приводящих к несогласованности движения тележек в сложной электромеханической системе спуска судна на воду. Показано, что учет выявленных факторов при формировании управляющих воздействий может привести к повышению эффективности функционирования сложной электромеханической системы типа слип.*

**Ключевые слова:** согласованное управление, многомашинный привод, электромеханическая система, возмущающие воздействия, математическая модель, слип.