

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ

*Смірнова Ю.А., асп., Лашко Ю.В., к.т.н., доц., Чорний О.П., д.т.н., проф.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна
E-mail: y.u.l.i.y.a@mail.ru*

Розглядаються оптимізаційні методи ідентифікації параметрів математичних моделей динамічних систем та аналізуються результати ідентифікації параметрів на прикладі математичної моделі ДПС незалежного збудження при незмінному магнітному потоці, на лінійній ділянці кривої намагнічування та з урахуванням кривої намагнічування оптимізаційними методами першого порядку та методами глобального пошуку.

Ключові слова: ідентифікація, оптимізація, електромеханічна система.

Вступ. Сучасні тенденції в розвитку техніки характеризуються широким застосуванням цифрових обчислювальних пристроїв, систем керування і засобів моніторингу та діагностики. Це пов'язано з інтенсифікацією виробничих процесів, яка викликана необхідністю глибшого й різномірного врахування динамічних чинників при вирішенні задач контролю й керування складними технічними об'єктами [1-2], якими, зокрема, є електромеханічні системи.

У сучасних системах керування визначення реального стану й параметрів ЕМС набуває першочергового значення. Невизначеність параметрів ЕМС змушує дослідників розробляти методи керування із алгоритмами, що мають низьку чутливість до параметричних відхилень, методи із застосуванням спостерегачів стану тощо.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз особливостей електричних процесів в ЕМС показав наявність чинників, які знижують ефективність, якість роботи, а також можуть привести до збоїв [3-6]. До таких чинників відносяться: відхилення напруги від номінальних значень; коливання напруги, викликані різкими змінами навантаження; несинусоїдальність струмів і напруги, причинами якої є нелінійні характеристики елементів системи; несиметрія напруги в трифазних системах; імпульсна напруга, що виникає при комутаціях у мережі; тимчасові перенапруження; технології проведення ремонтних робіт тощо. Існування цих чинників вимагає розробки нових методів дослідження і діагностики.

Відомі в даний час методи діагностики стану елементів ЕМС, засновані на прямих і непрямих вимірюваннях окремих контрольованих величин, пов'язані з обробкою великої кількості даних, наприклад, при формуванні множини можливих варіантів характерних станів ЕМС або елементів її конструкції. Проте адекватність математичних моделей реальним умовам порушується через існування зазначених чинників і, насамкінець, вимагає розробки нових методів дослідження і діагностики.

Мета роботи. Дослідження процесу ідентифікації параметрів математичної моделі двигуна постійного струму в динамічних режимах.

Матеріал і результати досліджень. Проведений

розгляд загальної схеми керування складним об'єктом, якою є ЕМС, виявив, що при вирішенні задач моделювання та ідентифікації потрібно визначити якнайкращу в деякому розумінні модель об'єкту, що описує співвідношення між вхідними і вихідними сигналами. Задача оцінки моделі ставиться як задача знаходження якнайкращої в сенсі заданого критерію. Параметри пристрою керування й параметри, що визначають режим поведінки керованого об'єкту, зазвичай виходять у результаті розв'язання відповідних оптимізаційних задач. У результаті встановлюється оптимальний режим протікання процесів у керованому об'єкті й реалізується оптимальна стратегія підтримки заданого режиму за певних умов експлуатації.

Таким чином, задача ідентифікації може бути сформульована як оптимізаційна, в якій вибір структури моделі та критерію є неформальними, але ґрунтовані на апріорній інформації. Пошук параметрів математичної моделі здійснюється за допомогою використання того чи іншого метода чисельного визначення параметрів.

Проведений аналіз методів оптимізації [7] дозволив виділити групу методів для вирішення задачі ідентифікації параметрів електромеханічної системи. Результати попередніх досліджень дають підстави для подальшого застосування таких методів оптимізації, як метод Нелдера-Міда (пошук за допомогою деформуючого багатогранника), метод Холтона (використання послідовності Холтона), метод ЛП-пошуку (використання ЛП-послідовності) стосовно вирішення задач ідентифікації ЕМС.

Метод Нелдера-Міда було виділено у зв'язку з тим, що він має просту логічну структуру та виявився ефективним у тих випадках, коли помилка обчислень значень цільової функції велика. Швидша збіжність методів Холтона та ЛП-пошуку, у порівнянні з випадковим пошуком, та висока точність при меншій, в два – чотири рази, кількості точок, а також просте обчислення точок послідовності Холтона та точок ЛП-послідовності відокремлюють дані методи серед відомих методів випадкового пошуку. Накопичення похибки при чисельному знаходженні похідних у методах першого та другого порядку впливає на сходження методів та робить неможливим їх застосування

стосовно поставлених задач.

Крім того, метод Нелдера-Міда дозволяє знайти один із локальних мінімумів функції, в околицях якого задані початкові значення, а використання глобальних методів пошуку Холтона та ЛП-пошуку дозволяють знайти глобальний мінімум в рамках фізичної реалізованості параметрів моделі системи.

Враховуючи, що основним компонентом ЕМС є електродвигун, технічний стан якого визначає функціональність усієї системи, задача ідентифікації його параметрів набуває першочергового значення. Дослідимо процес ідентифікації параметрів на прикладі електричного двигуна постійного струму, математична модель якого представлена системою диференціальних рівнянь [3].

Часто, для спрощення розрахунків, у математичній моделі ДПС не враховують нелінійність магнітного кола або розглядають криву намагнічування на лінійній ділянці, що певною мірою негативно відбивається на кінцевих результатах. Для отримання більш точних результатів криву намагнічування апроксимують відповідною нелінійною залежністю [3, 4].

Враховуючи зазначені відмінності, проведено налаштування параметрів математичної моделі ДПС за параметрами реального двигуна за наступних умов:

- без урахування нелінійності кривої намагнічування ($kf = const$);
- врахування кривої намагнічування на лінійній ділянці;
- врахування наявності кривої намагнічування з визначенням її параметрів.

Виконання дослідження за умов наявності кривої намагнічування (п. 3), передбачає розв'язання задачі ідентифікації коефіцієнтів апроксимуючих функцій.

Оцінювання параметрів відповідно наведеним пунктам дослідження (1-3) виконано за симплексним методом Нелдера-Міда, методами глобального пошуку Холтона та ЛП-пошуку на основі експериментальних залежностей кутової швидкості $w(t)$ і струму якоря $I(t)$, отриманих за результатами моделювання пуску ДПС незалежного збудження при незмінному магнітному потоці ($kf = const$). Для експериментів, що враховують нелінійності, перевірка теоретичних положень здійснювалась також з урахуванням струму збудження $I_{3\phi}(t)$.

В якості критерія ідентифікації взято квадрат похибки між експериментально отриманими вихідними даними об'єкта та вихідними даними моделі цього об'єкта [7]. Тобто, рівняння оцінювання параметрів матиме вигляд:

$$\sum_{k=1}^K (I_e[k] - I_p[k])^2 + (w_e[k] - w_p[k])^2 + (I_{3\phi_e}[k] - I_{3\phi_p}[k])^2 \Rightarrow \min \quad (1)$$

де $I_e[k]$, $w_e[k]$, $I_{3\phi_e}[k]$ – дискретні k -ті експериментальні значення струму якоря, кутової швидкості та струму збудження відповідно;

$I_p[k]$, $w_p[k]$, $I_{3\phi_p}[k]$ – дискретні k -ті

розрахункові значення струму якоря, кутової швидкості та струму збудження відповідно.

У табл. 1 наведені результати розв'язання задачі мінімізації (1) відносно параметрів: еквівалентного опору R_e , магнітного потоку kf , моменту інерції J , еквівалентної індукції L для математичної моделі ДПС [3] при постійному магнітному потоці. При проведенні досліджень початкові умови для налаштування моделі були розраховані на основі каталожних даних.

Таблиця 1 – Відносні похибки налаштування моделі без урахування кривої намагнічування (при незмінному потоці)

Ідентифікація параметрів ДПС ($kf = const$)				
Параметри ДПС	R_e , Ом	kf , Вб	J , кгм ²	L , Гн
Нелдера-Міда, %	0,00	0,001	0,002	не виз.
Холтона, %	1,00	0,74	1,50	1,00
ЛП-пошук, %	0,20	0,70	1,50	1,20

Як видно з табл. 1, використання методу нульового порядку Нелдера-Міда є ефективним для ідентифікації лише трьох зазначених параметрів моделі – R_e , kf , J і неможливістю визначення індуктивності якорного кола L . Це пояснюється неспроможністю методу знаходження екстремумів ярових функцій, що властиві фізичній реалізованості індуктивності L . Методи глобального пошуку відзначені працездатністю для всієї сукупності ідентифікуючих параметрів.

Як зазначалося вище, доцільно розглянути процес ідентифікації параметрів ДПС на лінійній ділянці кривої намагнічування. У цьому випадку в математичну модель дослідження додається залежність магнітного потоку і струму. І, відповідно, збільшується кількість параметрів, що потребують ідентифікації. У зв'язку з цим ідентифікацію з використанням методу Нелдера-Міда надалі проводити недоречно.

У табл. 2 наведені відносні похибки результатів ідентифікації параметрів R_e , kf , J , L , $R_{3\phi}$, $L_{3\phi}$ моделі ДПС незалежного збудження на лінійній ділянці кривої намагнічування.

Таблиця 2 – Відносні похибки налаштування моделі ДПС незалежного збудження на лінійній ділянці кривої намагнічування

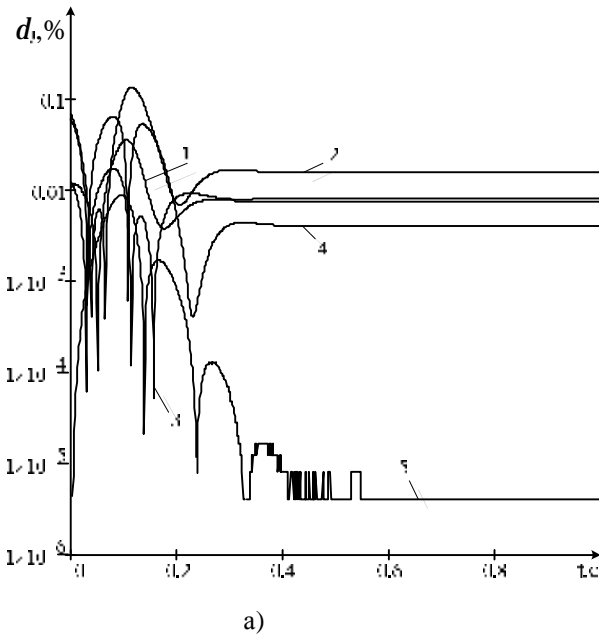
Ідентифікація параметрів ДПС $kf = var$						
Параметри ДПС	R_e , Ом	kf , Вб	J , кг/м ²	L , Гн	$L_{зб}$, Гн	$R_{зб}$, Ом
М-д Холтона, %	0,60	0,70	1,20	3,60	4,50	0,70
ЛП-пошук, %	1,20	0,20	0,90	3,30	3,60	0,20

Для отримання математичної моделі ДПС незалежного збудження, поведінка якої точніше відповідатиме поведінці реального об'єкту, її слід ускладнити, врахувавши нелінійність – криву намагнічування. За таких умов ідентифікацію слід застосувати і до коефіцієнтів функції кривої намагнічування.

У дослідженнях використаємо нелінійну залежність $kf = f(I_{зб})$ у вигляді:

$$kf = kf_n \cdot \frac{a + b \cdot \frac{I_{зб}}{I_{зб_n}}}{1 + c \cdot \frac{I_{зб}}{I_{зб_n}} + d \cdot \left(\frac{I_{зб}}{I_{зб_n}}\right)^2}, \quad (2)$$

де kf_n , $I_{зб_n}$ – номінальні значення магнітного потоку та струму збудження; a , b , c і d – параметри апроксимуючої функції кривої намагнічування.



У табл. 3 наведені відносні похибки результатів ідентифікації параметрів R , kf , J , L , $R_{зб}$, $L_{зб}$ моделі ДПС незалежного збудження та коефіцієнтів a , b , c і d кривої намагнічування.

Таблиця 3 – Відносні похибки налаштування моделі ДПС незалежного збудження з урахуванням кривої намагнічування

Ідентифікація параметрів моделі кривої намагнічування						
Кое-ти	a	b	c	d		
М-д Холтона, %	9,00	8,00	9,00	5,00		
ЛП-пошук, %	0,00	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	0		
Ідентифікація параметрів ДПС						
Параметри ДПС	R , Ом	kf , Вб	J , кг/м ²	L , Гн	$L_{зб}$, Гн	$R_{зб}$, Ом
М-д Холтона, %	0,80	3,10	2,70	4,50	8,90	9,00
ЛП-пошук, %	0,00	3,80	2,60	0,40	0,18	0,37

На рис. 1-3 наведені відносні похибки параметрів стану при налагоджуванні математичної моделі ДПС незалежного збудження, а саме кутової швидкості $w(t)$, струму якоря $I(t)$ та струму збудження $I_{зб}(t)$.

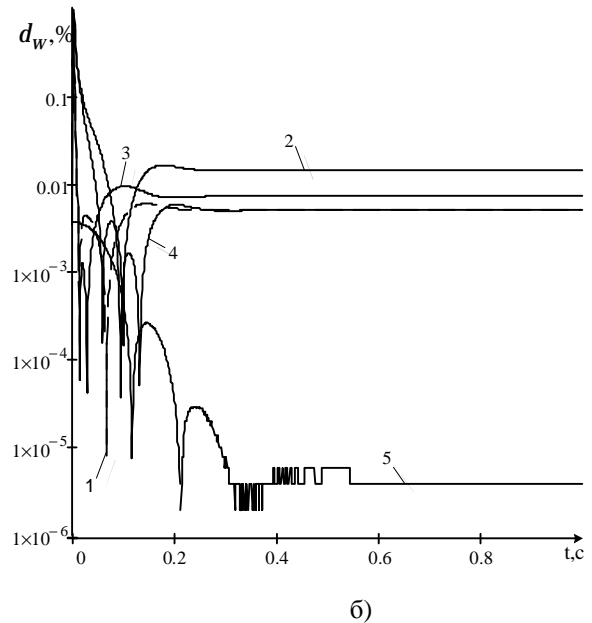


Рисунок 1 – Відносні похибки налаштування моделі:

а) - за струмом; б) – за кутовою швидкістю;

1 – методом Холтона, без урахування нелінійностей, 2 – методом Холтона, з урахуванням лінійної ділянки кривої намагнічування, 3 – ЛП-пошук, без урахування нелінійностей, 4 – ЛП-пошук, з урахуванням лінійної ділянки кривої намагнічування, 5 – методом Нелдера-Міда, без урахування нелінійностей

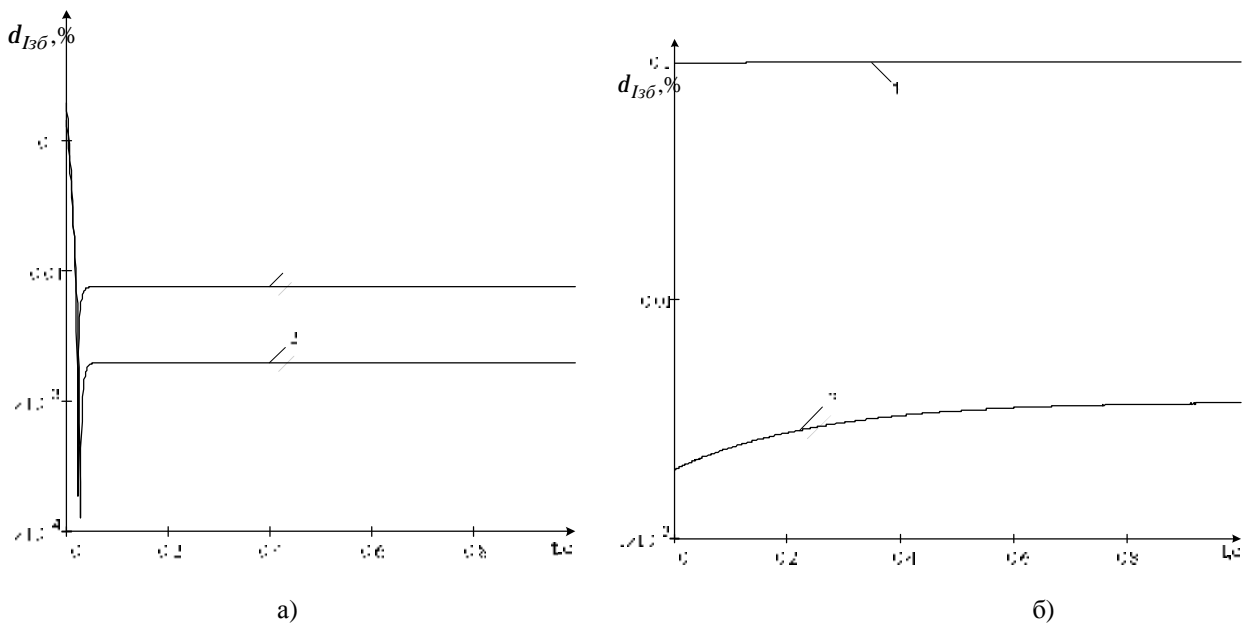


Рисунок 2 – Відносні похибки налаштування моделі за струмом збудження:
 а) - з урахуванням лінійної ділянки кривої намагнічування, б) - з урахуванням кривої намагнічування;
 1 – методом Холтона, 2 – ЛП-пошук

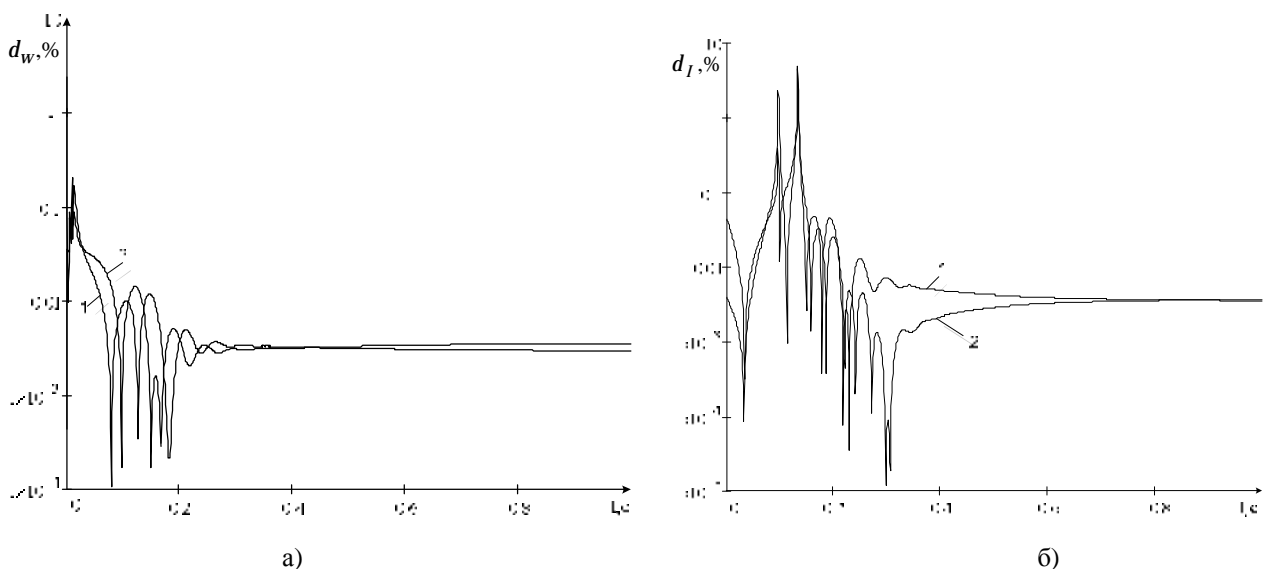


Рисунок 3 – Відносні похибки налаштування моделі:
 а) - за кутовою швидкістю; б) – за струмом;
 1 – методом Холтона, з урахуванням кривої намагнічування,
 2 – ЛП-пошук, з урахуванням кривої намагнічування

Відносна похибка параметрів стану ДПС незалежного збудження внаслідок налаштування параметрів математичної моделі з урахуванням кривої намагнічування на лінійній ділянці знаходиться в межах 2%. Викиди відносних похибок на початку проміжку часу (рис. 1-3) співпадають з неусталеним режимом роботи двигуна.

Як видно з отриманих результатів (рис. 1-3), відносні похибки параметрів стану в уставленому режимі ($t > 0.15$ с) при використанні ЛП-пошуку не перевищують позначки 5%, метод Холтона вирішив задачу з похибкою в 10%.

Висновки. У ході дослідження та аналізу отриманих результатів встановлено, що

застосований підхід вирішення задачі ідентифікації може бути використаний у системах електроприводу з налагодженням систем керування на параметри двигуна, системах діагностики, паспортизації і вихідного контролю двигунів після їх ремонту, в системах моніторингу і захисту електроприводів а також у віртуальних дослідницьких комплексах при проведенні досліджень на фізичних дослідницьких стендах. Подальшого дослідження потребують питання врахування нелінійностей реакції якоря тощо з метою більш точного наближення математичної моделі до реальної ЕМС, а також питання налагоджування моделей двигунів змінного струму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Строганов М. П. Обработка сигналов в системах диагностики / М. П. Строганов, М. П. Берестень, Н.В. М'ясникові; под ред. Е. П. Осадчего: Монография. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1997. – 119 с.
2. Осадчий Е. П. Системы на базе измерительного эксперимента / [Осадчий Е. П., Строганов М. П., Берестень М. П., Мясникова Н. В.] // Приборы и системы управления, 1995. – №1. – С. 17-19.
3. Чорний О. П. Моделивання електромеханічних систем. / [Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й. та ін.]– Кременчук, 2001. – 376 с.
4. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів. Навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. – 300 с.
5. Кучерук В. Ю. Елементи теорії побудови систем технічного діагностування електромоторів: Монографія. / В. Ю. Кучерук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2003. – 195 с.
6. Рогозин Г. Г. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока. Новые экспериментальные методы / Г. Г. Рогозин. – К.: Техніка, 1992. – 168 с.
7. Смірнова Ю. А. Оптимізаційні методи ідентифікації параметрів математичної моделі електромеханічної системи / Ю. А. Смирнова, Ю. В. Лашко, О. П. Чорний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, 2010. – №4(63), Ч. 1. – С. 158-162.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Смирнова Ю.А., асп., Лашко Ю.В., к.т.н., доц., Черный А.П., д.т.н., проф.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Украина

E-mail: y.u.l.i.y.a@mail.ru

Рассматриваются оптимизационные методы идентификации параметров математических моделей динамических систем и анализируются результаты идентификации параметров на примере математической модели ДПС независимого возбуждения при неизменном магнитном потоке, на линейном участке кривой намагничивания и с учетом кривой намагничивания оптимизационными методами первого порядка и методами глобального поиска.

Ключевые слова: идентификация, оптимизация, электромеханическая система.

IDENTIFICATION OF PARAMETERS IN MATHEMATICAL MODELS DC MOTOR IN DYNAMIC CONDITIONS

Smirnova Y., post-grad., Lashko Y., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Chorny O., Doc. Sc. (Tech.), Prof.

Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine

E-mail: y.u.l.i.y.a@mail.ru

The optimization methods for parametric identification of mathematical model of the dynamic systems are considered. The results of parametric identification on the example of mathematical model direct current motor of indirect excitation at constant magnetic flux, at the linear part of magnetization curve and taking into account the magnetization curve are analyzed by the optimization methods of the first order and by methods of global search.

Key words: identification, optimization, electromechanical system.