

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Запорізький національний технічний університет

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних робіт з дисципліни**  
**«Основи оптимізації складних електромеханічних**  
**(електротехнічних) систем та комплексів»**  
для студентів спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(освітня програма «Електричні машини і апарати»)  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи оптимізації складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітня програма «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання / Укл.: М. І. Коцур., Д.С. Яримбаш, Є.В. Куланіна, - Запоріжжя: ЗНТУ, 2018, - 49 с..

Укладачі: М. І. Коцур, доцент, канд. техн. наук  
Д.С. Яримбаш, доцент, докт.техн.наук;  
Є.В. Куланіна, старш. викл, канд. техн. наук;

Рецензент: В.Г. Савельєв, доцент.

Відповідальний  
за випуск: О.О. Чмут, провідний фахівець.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електричні машини»  
Протокол № 8  
від «22» березня 2018р.

Затверджено до видання  
НМК Електротехнічного факультету  
Протокол № 8  
від «29» березня 2018р.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1 Знаходження екстремальних значень функції від однієї змінної.....	5
Лабораторна робота № 2 Знаходження оптимального значення функції методом золотого перетину.....	9
Лабораторна робота № 3 Знаходження оптимального значення функції методом $p$ - квадратичного наближення.....	12
Лабораторна робота № 4 Знаходження оптимального значення функції методом Нелдера-Мида.....	17
Лабораторна робота № 5 Знаходження оптимального значення функції методом найшвидшого спуску.....	23
Лабораторна робота № 6 Вивчення методів оптимізації за допомогою засобів Optimization Toolbox Matlab.....	29
Рекомендована література . . . . .	33

## ВСТУП

При проектуванні та експлуатації електротехнічних систем постійно доводиться вирішувати завдання пошуку найкращого рішення з деякої безлічі допустимих рішень. Таке рішення називають *оптимальним*, процес пошуку такого рішення - *оптимізацією*, а завдання, в яких шукається таке рішення - *оптимізаційними задачами*.

Для конкретної оптимізаційної задачі не розробляється спеціальний метод вирішення. Існують математичні методи, призначені для вирішення будь-яких оптимізаційних задач - методи математичного програмування.

У розв'язку будь-якої практичної оптимізаційного завдання існує кілька етапів.

На першому етапі визначають границі досліджуваної системи, що дозволяє сформулювати деяке завдання виду  $f(x) \rightarrow \min$ , яке необхідно розв'язати.

Наступним етапом є вибір математичного методу, який би забезпечував одержання кінцевих результатів з найменшими витратами на обчислення або ж давав можливість одержати найбільший обсяг інформації про шуканий розв'язок. Вибір того або іншого методу в значній мірі визначається постановкою оптимального завдання, а також використанням математичних моделей об'єкта оптимізації.

Головною метою навчального посібника є засвоєння студентами практичних навичок використання математичного програмування і аналізу отриманих результатів, а також вирішення поставлених задач в програмному середовищі MatLab.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

### ЗНАХОДЖЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЇ ВІД ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ

Мета роботи: Вивчення та надбання навичок щодо знаходження екстремальних значень функції  $f(x)$ .

#### 1.1. Короткі теоретичні відомості

Функція  $f(x)$  має **локальний мінімум** у точці  $x = p$ , якщо існує такий відкритий інтервал  $I$ , що містить  $p$ , при умові  $f(p) \leq f(x)$  для всіх  $x \in I$ .

Функція  $f(x)$  має **локальний максимум** у точці  $x = p$ , при умові, що  $f(x) \leq f(p)$  для всіх  $x \in I$ . Якщо функція  $f(x)$  має або локальний мінімум, або локальний максимум у точці  $x = p$ , то говорять, що вона має **локальний екстремум** у точці  $x = p$ .

**Критерій першої похідної.** Припустимо, що функція  $f(x)$  безперервна на відрізку  $I = [a; b]$ . Крім того, припустимо, що  $f'(x)$  визначена для всіх  $x \in (a, b)$  за винятком, можливо, точки  $x = p$ .

Якщо  $f'(x) < 0$  на інтервалі  $(a, p)$  і  $f'(x) > 0$  на  $(p, b)$ , то  $f(p)$  - локальний мінімум.

Якщо  $f'(x) > 0$  на інтервалі  $(a, p)$  і  $f'(x) < 0$  на  $(p, b)$ , то  $f(p)$  - локальний максимум.

**Критерій другої похідної.** Припустимо, що функція  $f(x)$  безперервна на відрізку  $[a; b]$  і  $f'(x)$  і  $f''(x)$  визначені на  $(a, b)$ . Також припустимо, що  $p \in (a, b)$  — критична крапка, у якій  $f'(p) = 0$ .

Якщо  $f''(p) > 0$ , то значення  $f(p)$  є локальним мінімумом  $f(x)$ .

Якщо  $f''(p) < 0$ , значення  $f(p)$  є локальним максимумом  $f(x)$ .

Якщо  $f''(p) = 0$ , то цей критерій не є остаточним.

## 1.2 Хід роботи

1.2.1 Визначити інтервали функції  $f(x)$ , де вона зростає (зменшується) згідно заданого варіанта (табл. 1.1).

1.2.2 Доведіть або спростуйте, що функція  $f(x)$  є унімодальною у межах заданого інтервалу (табл. 1.1).

1.2.3. Оформити звіт з лабораторної роботи

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

Номер завдання	Номер варіанта	
1.2.1	1	$f(x) = 2x^3 - 9x^2 + 12x - 5;$
	2	$f(x) = x^2/(x + 1);$
	3	$f(x) = (x + 1)/x^2;$
	4	$f(x) = x^2 - 2;$
	5	$f(x) = 25x^3 - 8x^2 + 14x - 2;$
	6	$f(x) = 14x^3 + 2x^2 - 4x + 52;$
	7	$f(x) = x^2 - x - 2;$
	8	$f(x) = x^2 - 4x + 6;$
	9	$f(x) = 26x^2 - 4x + 1;$
	10	$f(x) = 18x^2 + 87x + 6;$
2.2.2	1	$f(x) = x^2 - 2x + 1; [0; 4]$
	2	$f(x) = \cos(x); [0; 3]$
	3	$f(x) = x^2 - 4 [1; 10]$
	4	$f(x) = -x(3-x)^{5/3}; [0; 3]$
	5	$f(x) = x^2 - x - 2; [0; 78]$
	6	$f(x) = x^2 - 4x + 6; [-5; 14]$
	7	$f(x) = 26x^2 - 4x + 1; [0; 35]$
	8	$f(x) = 18x^2 + 87x + 6; [1; 10]$
	9	$f(x) = 2x^3 - 9x^2 + 12x - 5; [0; 78]$
	10	$f(x) = x^2 - 4 [-8; 25]$

### 1.3 Приклад алгоритму розрахунку

Програма розрахунку виконується у середовищі MatLAB за допомогою створення m-файлу.

Для завдання 1.2.1. текст програми має вигляд:

```
dfun=inline('3.*x.^2+4*x+84');
x=[-1:0.03:1];
% the sign for the first interval and store it into "znak". The value 0 for
% "-" and 1 for "+"
k=1;
if dfun(x(k))> 0
    znak(k)=1;
else znak(k)=0;
end
% store the first interval value at which the function corresponds to
"znak"
interval=x(k);
% iteration for the derivative value, the change in function sign is stored
for i=2:length(x)
    y=dfun(x(i));
    if dfun(x(i))> 0
        z=1;
    else z=0;
    end
    if znak(k) ~= z
        k=k+1;
        interval(k)=x(i);
    end
end
if length(interval)== 1
    interval(k+1)=x(i);
end
```

Для завдання 1.2.2. текст програми має вигляд:

```
a=0;
b=4;
dfun=inline('2*x-2');
```

```
x=[a:0.1:b];
y=dfun(x);
k=1;
m(1,1)=0;
flag=0;
for i=1:length(x)
    if y(i)==0
        m(k)=i;
        k=k+1;
        flag=1;
    end
end
plot(x,y);
if flag==1
for i=1:length(m)
    if (y(m(i)-1) < y(m(i))) && (y(m(i)+1) > y(m(i)))
        unim=1;
    else
        unim=0;
        break;
    end
end
else
    unim=0;
end
```

#### 1.4 Контрольні запитання

1. Надайте визначення локального мінімуму та локального максимуму функції  $f(x)$ ;
2. Надайте визначення зростаючої та спадаючої функції;
3. Надайте визначення унімодальної функції;



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

### ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ МЕТОДОМ ЗОЛОТОГО ПЕРЕТИНУ

Мета роботи: Вивчення та надбання навичок щодо знаходження оптимального значення функції методом золотого перетину.

#### 2.1. Короткі теоретичні відомості

Нехай  $r \in [0; 1]$  — початковий інтервал. Якщо  $0,5 < r < 1$ , то  $0 < 1 - r < 0,5$  і інтервал ділиться на три під інтервали:  $[0; 1 - r]$ ,  $[1 - r; r]$  і  $[r; 1]$ . У процесі розв'язку використовується або стиск вправо й одержання нового інтервалу  $[0; r]$ , або стиснення уліво й одержання інтервалу  $[1 - r; 1]$ . Потім отримані під інтервали далі діляться на три під інтервали в такому ж співвідношенні, як у випадку з інтервалом  $[0; 1]$ .

Таким чином, необхідно так вибрати  $r$ , щоб одна зі старих точок була в правильному положенні щодо нового інтервалу. Із цього випливає, що відношення  $(1 - r) : r$  таке ж, як і  $r : 1$ . Отже,  $r$  задовольняє рівнянню  $1 - r = r^2$ , яке можна записати у вигляді квадратного рівняння виду  $r^2 + r - 1 = 0$ . Розв'язок  $r$ , що задовольняє нерівності  $0,5 < r < 1$ , дорівнює  $r = (\sqrt{5} - 1) / 2$ .

Функція  $f(x)$  повинна задовольняти особливим умовам, які гарантують існування дійсного мінімуму на інтервалі, щоб можна було використовувати пошук мінімуму функції  $f(x)$  методом золотого перетину.

#### 2.2 Хід роботи

2.2.1. Визначити локальний мінімум методом золотого перетину функції виду  $f(x)$  з точністю до третього знаку з кроком 0,1. Номер варіанта згідно табл.1.1.

2.2.1. Визначити локальний мінімум методом золотого перетину функції виду  $f(x)$  з точністю до восьми десятинних знаків з кроком 0,01.

2.2.3. Оформити звіт з лабораторної роботи.

### 2.3 Приклад алгоритму розрахунку

Програма розрахунку виконується у середовищі MatLAB за допомогою створення m-файлу.

```
function Maximum(a,b,eps)
function [S,E,G] =golden(f,a,b,delta,epsilon)
r1=(sqrt(5)-1)/2;
r2=r1^2;
h=b-a;
ya=feval(f,a);
yb=feval(f,b);
c=a+r2*h;
d=a+r1*h;
yc=feval(f,c);
yd=feval(f,d);
k=1;
A(k)=a;
B(k)=b;
C(k)=c;
D(k)=d;
while(abs(yb-ya)>epsilon)|(h>delta)
    k=k+1;
    if(yc<yd)
        b=d;
        yb=yd;
        d=c;
        yd=yc;
        h=b-a;
        c=a+r2*h;
        yc=feval(f,c);
    else
        a=c;
```

```
ya=yc;  
c=d;  
yc=yd;  
h=b-a;  
d=a+r1*h;  
yd=feval(f,d);  
end  
A(k)=a;  
B(k)=b;  
C(k)=c;  
D(k)=d;  
end  
dp=abs(b-a);  
dy=abs(yb-ya);  
p=a;  
yp=ya;  
if(yb<ya)  
    p=b;  
    yp=yb;  
end  
G=[A' C' D' B'];  
S=[p yp];  
E=[dp dy];
```

## 2.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає метод золотого перетину?
2. Чим відрізняється метод золотого перетину від методу інтервалів?
3. Чим відрізняється метод золотого перетину від методу Фібоначчі?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

## ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ МЕТОДОМ $P$ - КВАДРАТИЧНОГО НАБЛИЖЕННЯ

Мета роботи: Вивчення та надбання навичок щодо знаходження оптимального значення функції методом  $p$  - квадратичного наближення.

### 3.1. Короткі теоретичні відомості

Знаходження мінімуму функції за допомогою квадратичного наближення, необхідно знайти таке значення  $p_{\min}$ , яке є наближенням до  $p$ . Для цього використовується поліном Лагранжа, який має вигляд:

$$Q(x) = \frac{y_0(x-p_1)(x-p_2)}{2h^2} - \frac{y_1(x-p_0)(x-p_2)}{h^2} + \frac{y_2(x-p_0)(x-p_1)}{2h^2} \quad (3.1)$$

Похідна від  $Q(x)$  дорівнює

$$Q'(x) = \frac{y_0(2x-p_1-p_2)}{2h^2} - \frac{y_1(x-p_0-p_2)}{h^2} + \frac{y_2(2x-p_0-p_1)}{2h^2}; \quad (3.2)$$

Запишемо  $Q'(x) = 0$  у вигляді  $Q'(p_0+h_{\min})=0$ :

$$0 = \frac{y_0(2(p_0+h_{\min})-p_1-p_2)}{2h^2} - \frac{y_1(4(p_0+h_{\min})-2p_0-2p_2)}{2h^2} + \frac{y_2(2(p_0+h_{\min})-p_0-p_1)}{2h^2} \quad (3.3)$$

Помножимо кожний член в (3.3) на  $2h^2$  та поєднаємо члени, які містять  $h_{\min}$ :

$$\begin{aligned}
& -h_{min}(2y_0 - 4y_1 + 2y_2) \\
& = y_0(2p_0 - p_1 - p_2) - y_1(4p_0 - 2p_0 - 2p_2) \\
& + y_2(2p_0 - p_0 - p_1) \\
& = y_0(-3h) - y_1(-4h) + y_2(-h).
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Останнє рівняння легко одержати відносно  $h_{min}$ :

$$h_{min} = \frac{h(4y_1 - 3y_0 - y_2)}{4y_1 - 2y_0 - 2y_2}. \tag{3.5}$$

Значення  $p_{min} = p_0 + h_{min}$  є кращим наближенням до  $p$ , чому  $p_0$ . Тому можна замінити  $p_0$  на  $p_{min}$  і повторити схему двох описаних вище процесів, щоб визначити нову довжину кроку  $h$  і нове  $h_{min}$ . Ітерація триває до необхідної точності.

### 3.2 Хід роботи

3.2.1 Визначити локальний мінімум, використавши квадратичне інтерполювання функції виду  $f(x)$  з точністю до восьми десятинних знаків. (номер варіанту за табл. 1.1);

3.2.1. Визначити локальний мінімум, використавши квадратичне інтерполювання функції виду  $f(x)$  з точністю до десяти десятинних знаків.

3.2.3. Оформити звіт з лабораторної роботи.

### 3.3 Приклад алгоритму розрахунку

Програма розрахунку виконується у середовищі MatLAB за допомогою створення m-файлу.

```
function [p, yp, dp, dy] =quadmin (f1,a,b,delta, eps)
% - f - function
% - a, b - interval extremal points
% - delta – admissible value for absciss
```

```

% - eps - admissible value for ordinate
% - p - min of abciss
% - yp - min ordinate
% - dp - p-error
% - dy - yp-error
% - P - iteration vector
p0=a; maxj=20;
maxk=30;
big=1e006;
err=0.9;
k=1;
cond=0;
h=1;
if(abs(p0)>1e004),
    h=abs(p0)/1e004;
end
while(k<maxk&&err>eps&&cond~=5)
    f2=(feval(f1,p0+0.00001)-feval(f1,p0-0.00001))/0.00002 ; if(f2>0),h=-
abs(h);end
    pl=p0+h; p2=p0+2*h;
    pmin=p0;
    y0=feval(f1,p0);
    y1=feval(f1,pl);
    y2=feval(f1,p2);
    ymin=y0;
    cond=0;
    j=0;
% h under condition  $y_1 < y_0$  &  $y_1 < y_2$ 
    while(j<maxj&&abs(h)>delta&&cond==0)
        if (y0<=y1),
            p2=pl;
            y2=y1;
            h=h/2;
            pl=p0+h;
            y1=feval(f1,pl);
        else
            if(y2<y1),
                pl=p2;
                y0=y2;
                h=2*h;
                p2=p0+2*h;

```

```

        y2=feval(f1,p2);
        else
        cond=-1;
        end
    end
    j=j+1;
    if (abs(h)>big || abs(p0)>big),cond=5; end
    if(cond==5), pmin=pl;ymin=feval(f1,pl); end
% Quadratic interpolation for yp finding
    d=4*y1-2*y0-2*y2;
    if(d<0), hmin=h*(4*y1-3*y0-y2)/d;
    else
    hmin=h/3;
    cond=4;
    pmin=p0+hmin;
    ymin=feval(f1,pmin);
    h=abs(h);
    h0=abs(hmin);
    h1=abs(hmin-h);
    h2=abs(hmin-2*h);
% Next h value determination
    if(h0<h),
        h=h0;
    end
    if(h1<h),
        h=h1;
    end
    if(h2<h),
        h=h2;
    end
    if(h==0),
        h=hmin;
    end
    if(h<delta),
        cond=l;
    end
    if (abs(h)>big||abs(pmin)>big),
        cond=5;
    end
    end
% Stop criterion

```

```

e0=abs(y0-ymin);
e1=abs(y1-ymin);
e2=abs(y2-ymin);
  if(e0~=0 || e0<err),
    err=e0;
  end
  if(e1~=0 || err),
    err=e1;
  end
  if (e2~=0 || 2<err),
    err=e2;
  end
  if (e0~=0 || e1==0 || e2==0),
    err=0;
  end
  if(err<eps),
    cond=2;
  end
p0=pmin;
k=k+1;
  end
if(cond==2&&h<delta),
  cond=3;
end
end
p=p0;
dp=h;
yp=feval(f1,p);
dy=err;

```

### 3.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає метод р - квадратичного наближення?
2. Чим відрізняється метод р - квадратичного наближення від методу інтервалів?
3. Чим відрізняється метод золотого перетину від методу р - квадратичного наближення?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

### ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ МЕТОДОМ НЕЛДЕРА-МИДА

Мета роботи: Вивчення та надбання навичок щодо знаходження оптимального значення функції методом Нелдера-Мида.

#### 4.1. Короткі теоретичні відомості

##### 4.1.1 Знаходження екстремальних значень функції $f(x, y)$

Функція  $f(x, y)$  має локальний мінімум у точці  $(p, q)$ , якщо  $f(p, q) < f(x, y)$  для кожної точки  $(x, y) \in R$ .

Функція  $f(x, y)$  має локальний максимум у точці  $(p, q)$ , якщо  $f(x, y) < f(p, q)$  для кожної точки  $(x, y) \in R$ .

*Критерій другої похідної.* Припустимо також, що функція  $f(x, y)$  і її перша й друга часткові похідні безперервні в області  $R$ . Припустимо, що  $(p, q) \in R$  — критична точка, у якій  $f_x(p, q) = 0$ , і  $f_y(p, q) = 0$ . Часткові похідні вищого порядку використовуються для визначення природи критичної точки.

Якщо  $f_{xx}(p, q) \cdot f_{yy}(p, q) - f_{xy}^2(p, q) > 0$  і  $f_{xx}(p, q) > 0$ , то  $f(p, q)$  — локальний мінімум функції  $f(x, y)$ .

Якщо  $f_{xx}(p, q) \cdot f_{yy}(p, q) - f_{xy}^2(p, q) > 0$  і  $f_{xx}(p, q) < 0$ , то  $f(p, q)$  — локальний максимум функції  $f(x, y)$ .

Якщо  $f_{xx}(p, q) \cdot f_{yy}(p, q) - f_{xy}^2(p, q) < 0$ , то функція  $f(x, y)$  не має локального екстремуму в точці  $(p, q)$ .

Якщо  $f_{xx}(p, q) \cdot f_{yy}(p, q) - f_{xy}^2(p, q) = 0$ , цей критерій не є остаточним.

### 4.1.2 Метод Нелдера-Мида

Симплекс-Метод знаходження локального мінімуму функції від декількох змінних винайдений Нелдером і Мидом. Для двох змінних симплексом є трикутник, і метод — це схема пошуку, який порівнює значення функції в трьох вершинах трикутника. Найгірша вершина, у якій функція  $f(x,y,z)$  приймає найбільше значення, відкидається й замінюється новою вершиною. Формується новий трикутник, і пошук триває. При цьому будується послідовність трикутників (вони можуть мати різну форму), значення функції у вершинах якої стають усе менше й менше. Зменшується розмір трикутника, і координати крапки мінімуму знайдені.

У формулюванні алгоритму використовується термін "симплекс" (узагальнений  $N$ -мірний трикутник). З його допомогою перебуває мінімум функції від  $N$  змінних. Він ефективний і компактний при обчисленні.

## 4.2 Хід роботи

4.2.1 Визначити локальний мінімум, використавши метод Нелдера-Мида для функцій виду  $f(x,y)$  з точністю до восьми десятинних знаків. (номер варіанту за табл.4.1);

4.2.2. Визначити локальний мінімум, використавши метод Нелдера-Мида для функцій виду  $f(x,y,z)$  з точністю до восьми десятинних знаків. (номер варіанту за табл.4.2)

4.2.3. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдання

Номер варіанта	Вид цільової функції та початкові умови
1	$f(x,y) = x^3 + y^3 - 3x - 3y + 5; (1;2);$
2	$f(x,y) = x^2 + y^2 + x - 2y - x \cdot y + 1; (2;0);$
3	$f(x,y) = x^2 + x \cdot y^2 - 3x \cdot y; (2;1)$

## Продовження таблиці 4.1

Номер варіанта	Вид цільової функції та початкові умови
4	$f(x,y) = (x-y)/(x^2+y+2); (0;2)$
5	$f(x,y) = 100(y-x^2)^2 + (1-x)^2; (0;2)$
6	$f(x,y) = x^2 + 24 \cdot x \cdot y^2 - 3x \cdot y; (2;1)$
7	$f(x,y) = 4 \cdot x^3 + 7 \cdot y^3 - 3x - 3 \cdot y + 5; (0;2);$
8	$f(x,y) = 4(y-x^2) + (1-x)^2; (0;2)$
9	$f(x,y) = 4x^2 + 4x \cdot y^2 - 8 \cdot x \cdot y; (3;10)$
10	$f(x,y) = 4 \cdot (x-y)/(x^2+y^2-1); (0;2)$
11	$f(x,y) = (x^2-y)/(x+y^2-1); (0;0)$
12	$f(x,y) = (y^2-x^2) + (1-x)^2; (0;0)$

## Таблиця 4.2 – Варіанти завдання

Номер варіанта	Вид цільової функції та початкові умови
1	$f(x,y,z) = x^3 + y^3 - 3 \cdot x - 3 \cdot y + z; (1;2;2);$
2	$f(x,y,z) = -x^2 + y^2 + z^2 + x - 2 \cdot z - y + 1; (2;0;0);$
3	$f(x,y,z) = 2 \cdot x^2 + 2 \cdot y^2 + z^2 - 2 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 4 \cdot z; (1;1;1)$
4	$f(x,y,z) = 2 \cdot x^2 + 2 \cdot y^2 + z^2 - 2 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 4 \cdot z; (0;1;0)$
5	$f(x,y,z) = 2 \cdot x^2 + 2 \cdot y^2 + z^2 - 2 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 4 \cdot z; (0;0;1)$
6	$f(x,y,z) = x^2 + y^2 + z^2 - 4 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 8 \cdot x; (1;1;1)$
7	$f(x,y,z) = x^2 + y^2 + z^2 - 4 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 8 \cdot x; (0;1;0)$
8	$f(x,y,z) = x^2 + y^2 + z^2 - 4 \cdot x \cdot y + z \cdot y - 7 \cdot y - 8 \cdot x; (0;0;1)$
9	$f(x,y,z) = 2x^3 + 4y^3 - 7z - 3y + 5; (1;2;2);$
10	$f(x,y,z) = 2x^3 + 4y^3 - 7z - 3y + 5; (0;2;0);$
11	$f(x,y,z) = 2 \cdot x^2 + 4 \cdot y^2 - 4 \cdot z^2 + x - 2 \cdot z - y^2 + 1; (0;0;0);$
12	$f(x,y,z) = x^2 + y^2 + z^2 + x - 8 \cdot x - y + 7; (0;0;0);$

## 4.5 Приклад алгоритму розрахунку

Програма розрахунку виконується у середовищі MatLAB за допомогою створення m-файлу.

Початкові данні:  $f(x,y)=\frac{x-y}{x^2+y^2+2}$ ; (1;2), (2;0) и (2;2).

```
function z=F(V1)
```

```
z=0;
```

```
x=V1(1);
```

```
y=V1(2);
```

```
z=(x-y)/(x.^2+y.^2+2);
```

Функція для трьох змінних визначається наступним чином:

```
function e=F(V1)
```

```
z=V1(1);
```

```
x=V1(1);
```

```
y=V1(1);
```

```
e=[2*x.^2+2*y.^2+z.^2-2*x.*y+y.*z-7*y-4*z];
```

```
function [V0,y0,dV,dy]=nedler(V,mini,maxi,epsilon,show)
```

```
if nargin==5
```

```
show=0;
```

```
end
```

```
[mm,n]=size(V);
```

```
for j=1:n+1
```

```
    Z=V(j,1:n);
```

```
    Y(j)=feval(@F,Z);
```

```
end
```

```
[mm,lo]=min(Y);
```

```
[mm,hi]=max(Y);
```

```
li=hi;
```

```
ho=lo;
```

```
for j=1:n+1
```

```
    if(j~=lo) && (j~=hi) && (Y(j)<=Y(li))
```

```
        li=j;
```

```
    end
```

```
    if(j~=hi) && (j~=lo) && (Y(j)>=Y(ho))
```

```
        ho=j;
```

```
    end
```

```
    cnt=0;
```

```
    % begin
```

```
    while((Y(hi)>Y(lo)+epsilon) && (cnt<maxi)||cnt<mini)
```

```
        S=zeros(1,1:n);
```

```
        for j=1:n+1
```

```
            S=S+V(j,1:n);
```

```
        end
```

```

M=(S-V(hi,1:n))/n;
R=2*M-V(hi,1:n);
yR=feval(@F,R);
if(yR<Y(ho))
    if(Y(li)<yR)
        V(hi,1:n)=R;
        Y(hi)=yR;
    else
        E=2*R-M;
        yE=feval(@F,E);
        if(yE<Y(li))
            V(hi,1:n)=E;
            Y(hi)=yE;
        else
            V(hi,1:n)=R;
            Y(hi)=yR;
        end
    end
end
else
    if (yR<Y(hi))
        V(hi,1:n)
        Y(hi)=yR;
    end
    C=(V(hi,1:n)+M)/2;
    yC=feval(@F,C);
    C2=(M+R)/2;
    yC2=feval(@F,C2);
    if(yC<Y(hi))
        V(hi,1:n)=C;
        Y(hi)=yC;
    else
        for j=1:n+1
            if (j~=lo)
                V(j,1:n)=(V(j,1:n)+V(lo,1:n))/2;
                Z=V(j,1:n);
                Y(j)=feval(@F,Z);
            end
        end
    end
end
end
[mm,lo]=min(Y);

```

```

[mm,hi]=max(Y);
li=hi;
ho=lo;
for j=1:n+1
    if(j~=lo)&&(j~=hi)&&(Y(j)<=Y(li))
        li=j;
    end
    if(j~=hi)&&(j~=lo)&&(Y(j)>=Y(ho))
        ho=j;
    end
end
cnt=cnt+1;
P(cnt,:)=V(lo,:);
Q(cnt)=Y(lo);
end
snorm=0;
for j=1:n+1
    s=norm(V(j)-V(lo));
    if(s>=snorm)
        snorm=s;
    end
end
Q=Q';
V0=V(lo,1:n);
y0=Y(lo);
dV=snorm;
dy=abs(Y(hi)-Y(lo));
if(show == 1)
    disp(P);
    disp(Q);
end

```

#### 4.6 Контрольні запитання

1. Надайте визначення локального мінімуму та локального максимум функції  $f(x;y)$ ;
2. Критерій другої похідної функції  $f(x;y)$ ;
3. Особливості методу Нелдера-Мида.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

### ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ МЕТОДОМ НАЙШВИДШОГО СПУСКУ

Мета роботи: Вивчення та надбання навичок щодо знаходження оптимального значення функції методом найшвидшого спуску.

#### 5.1. Короткі теоретичні відомості

Звернемося до мінімізації функції  $f(\mathbf{X})$  від  $N$  змінних, де  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ . Градієнт  $f(\mathbf{X})$  — це вектор (векторна функція), визначений як:

$$\mathit{grad}(f_1, f_2, \dots, f_N), \quad (5.1)$$

де частинна похідні  $f_k = \partial f / \partial x_k$  обчислюються в точці  $\mathbf{X}$ .

Градієнт (5.1) указує напрямок найбільшої швидкості зростання функції  $f(\mathbf{X})$ . Отже,  $-\mathit{grad} f(\mathbf{X})$  указує напрямок найбільшого убавання.

Пошук починається із точки  $\mathbf{P}_0$  уздовж лінії, що проходить через  $\mathbf{P}_0$  у напрямку

$$\mathbf{S}_0 = -\mathbf{G} / \|\mathbf{G}\|,$$

де  $\mathbf{G} = \mathit{grad} f(\mathbf{P}_0)$ .

При знаходженні точки  $\mathbf{P}_1$ , де перебуває локальний мінімум, точка  $\mathbf{X}$  змушена буде потрапити на лінію  $\mathbf{X} = \mathbf{P}_0 + t\mathbf{S}_0$ . Потім можна обчислити  $\mathbf{G} = \mathit{grad} f(\mathbf{P}_1)$  і рухатися в напрямку  $\mathbf{S}_1 = -\mathbf{G} / \|\mathbf{G}\|$ . При знаходженні точки  $\mathbf{P}_2$ , крапка  $\mathbf{X}$  змушена буде потрапити на лінію  $\mathbf{X} = \mathbf{P}_1 + t\mathbf{S}_1$ . Ітерація породжує послідовність точок  $\{\mathbf{P}_k\}$ , що володіють властивістю

$$f(\mathbf{P}_0) > f(\mathbf{P}_1) > \dots > f(\mathbf{P}_k) > \dots \quad (5.2)$$

Якщо  $\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{P}_k = \mathbf{P}$ , то  $f(\mathbf{P})$  буде локальним мінімумом для  $f(\mathbf{X})$ .

### Схема методу градієнта

Припустимо, що послідовність точок  $\mathbf{P}_k$  отримана.

*Крок 1.* Обчислення градієнта  $\mathbf{G} = \text{grad } f(\mathbf{P}_k)$ .

*Крок 2.* Визначення напрямку пошуку  $\mathbf{S} = -\mathbf{G} / \|\mathbf{G}\|$ .

*Крок 3.* Визначається єдиний параметр мінімізації  $\Phi(t) = f(\mathbf{P}_k + t\mathbf{S})$  на інтервалі  $[0, b]$ , де  $t = h_{min}$ . Для  $\Phi(t)$  перебуває локальний мінімум. Співвідношення  $\Phi(h_{min}) = f(\mathbf{P}_k + h_{min}\mathbf{S})$  визначає мінімум для  $f(\mathbf{X})$  уздовж обраної лінії  $\mathbf{X} = \mathbf{P}_k + h_{min}\mathbf{S}$ .

*Крок 4.* Побудова наступних крапок  $\mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_k + h_{min}\mathbf{S}$ .

*Крок 5.* Визначається критерій достатньої мінімізації, тобто чи досить близькі значення функції  $f(\mathbf{P}_k)$  і  $f(\mathbf{P}_{k+1})$  і чи досить мала відстань  $\|\mathbf{P}_{k+1} - \mathbf{P}_k\|$ .

## 5.2 Хід роботи

5.2.1. Визначити максимальне значення цільової функції резонансного контуру за своїм варіантом, використовуючи метод найшвидшого спуску. Завдання виконується для двох та трьох змінних за табл. 4.1., та табл.4.2.

5.2.2. Оформити звіт з лабораторної роботи.

## 5.3 Приклад алгоритму розрахунку

Програма розрахунку виконується у середовищі MatLAB за допомогою створення m-файлу.

Початкові данні:  $f(x,y) = x^3 \frac{x-y}{x^2+y^2+2}$ ;

Часткові похідні:  $dz/dx = \frac{-x^2+2*x*y+y^2+2}{(x^2+y^2+2)^2}$   $dz/dy = \frac{-x^2-2*x*y+y^2-2}{(x^2+y^2+2)^2}$ ,

$P_0 = (1;2)$ .

Функція для двох змінних визначається наступним чином

function z=G(V)

z=zeros(1,2);

x=V(1); y=V(1);



$$g = \frac{(-x.^2 + 2*x*y + y.^2 + 2)}{(x.^2 + y.^2 + 2).^2} \quad (-x.^2 - 2*x*y + y.^2 - 2) / (x.^2 + y.^2 + 2).^2;$$

$$z = -(1/\text{norm}(g))*g;$$

Алгоритм програми:

```
function [P0,y0,err]=grads(P0,maxi,delta,epsilon,show)
    if nargin == 5
        show=0;
    end
    [mm n]=size(P0);
    maxj=10;
    big=1e8;
    h=1;
    P=zeros(maxj,n+1);
    len=norm(P0);
    y0=feval(@F,P0);
    if len>1e4
        h=len;
    end
    err=1;
    cnt=0;
    cond=0;
    P(cnt+1,:)= [P0 y0];
    while(cnt<maxi) && (cond~=5) && ((h>delta) || (err>epsilon))
        % direct search begining
        S=feval(@G,P0);
        P1=P0+h*S;
        P2=P0+2*h*S;
        y1=feval(@F,P1);
        y2=feval(@F,P2);
        cond=0;
        j=0;
        while (j<maxi) && (cond == 0)
            len=norm(P0);
            if(y0<y1)
                P2=P1;
                y2=y1;
                h=h/2;
                P1=P0+h*S;
                y1=feval(@F,P1);
            else
                if (y2<y1)
```

```

        P1=P2;
        y1=y2;
        h=2*h;
        P2=P0+2*h*S;
        y2=feval(@F,P2);
    else
        cond=-1;
    end
end
j=j+1;
if(h<delta)
    cond=1;
end
if(abs(h)>big) || (len>big)
    cond=5;
end
end
if (cond==5)
    Pmin=P1;
    ymin=y1;
else
    d=4*y1-2*y0-2*y2;
    if(d<0)
        hmin=h*(4*y1-3*y0-y2)/d;
    else
        cond=4;
        hmin=h/3;
    end
    Pmin=P0+hmin*S;
    ymin=feval(@F,Pmin);
    h0=abs(hmin);
    h1=abs(hmin-h);
    h2=abs(hmin-2*h);
    if(h0<h)
        h=h0;
    end
    if(h1<h)
        h=h1;
    end
    if(h2<h)
        h=h2;
    end
end

```

```

end
if(h==0)
    h=hmin;
end
if(h<delta)
    cond=1;
end
e0=abs(y0-ymin);
e1=abs(y1-ymin);
e2=abs(y2-ymin);
if (e0~=0) && (e0<err)
    err=e0;
end
if (e0 && e1 < err)
    err=e1;
end
if (e2~=0) && (e2<err)
    err=e2;
end
if (e0==0) && (e1==0) && (e2==0)
    err=0;
end
if (err<epsilon)
    cond=2;
end
if(cond == 2) && (h < delta)
    cond=3;
end
end
cnt=cnt+1;
P(cnt+1,:)=Pmin ymin];
P0=Pmin;
Y0=ymin;
end
if show == 1
    disp(P);
end
end
end

```

#### 5.4 Контрольні запитання

1. Надайте визначення локального мінімуму та локального максимум функції  $f(x;y)$ ;
- 2 Критерій другої похідної функції  $f(x;y)$ ;
3. Особливості методу найшвидшого спуску.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

### ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ OPTIMIZATION TOOLBOX MATLAB

Мета роботи: вивчити та освоїти можливості пакету optimization toolbox програмного засобу MatLAB.

#### 6.1 Короткі теоретичні відомості

В Matlab існує багато методів мінімізації як одномірних (*fminbnd*), так і багатомірних (*fminsearch*, *lsqnonlin*, *fminmax*, *fminunc*, *fmincon*) функцій, які реалізують різні чисельні методи.

У функції *fminsearch* використовується метод Нелдера-Мида. Перевагою цієї функції є можливість її використання для негладких і розривних цільових функцій.

Форма звертання до цієї функції має вигляд:

$$\mathbf{x} = \mathbf{fminsearch}(\mathbf{fun}, \mathbf{x}_0, \mathbf{options}, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots). \quad (6.1)$$

У тому випадку, коли функція є досить гладкої, для пошуку її мінімуму можна скористатися процедурою *fminunc*. Дана функція реалізує метод Ньютона.

Функція *lsqnonlin* застосовується в тих випадках, коли цільова функція має вигляд:

$$F = 1/2 \cdot \sum f_i^2. \quad (6.2)$$

У цьому випадку градієнт  $\mathbf{g}$  і гессіан  $\mathbf{H}$  функції  $F$  виражаються через якобіан  $\mathbf{J}$  вектор-функції  $f |f_1, f_2, \dots, f_m|'$ :

$$\mathbf{g} = \mathbf{J}' \times \mathbf{f}; \quad (6.3)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{J}' \times \mathbf{J} + \mathbf{R}. \quad (6.4)$$

Залишковий член  $R$  включає другі похідні від  $F$ , але в околиці мінімуму їм звичайно зневажають у порівнянні з  $J' \times J$ . Це дає можливість не обчислювати другі похідні, що значно прискорює роботу з порівнянням із загальним випадком.

Система рівнянь для відшукування вектора зрушення  $H \times p = -g$  при заміні  $H$  на  $J' \times J$  перетворюється в  $J' \times J \times p = -J' \times f$ . Цей спосіб називається методом Гаусса-Ньютона.

У методі Левенберга-Марквардта матриця  $J' \times J$  у лівій частині системи рівнянь замінюється на  $J' \times J + \lambda \times I$ , де  $I$  - одинична матриця, а  $\lambda$  - деяке від'ємне число. Для вектора зсуву задається обмеження  $|p| < \Delta$ , де  $\Delta$  і  $\lambda$  взаємозалежні.

В функції *lsqnonlin* застосовуються обидва метода: метод Гаусса-Ньютона й Левенберга-Марквардта.

У зверненні до  $x = \text{lsqnonlin}(\text{fun}, x_0)$  мінімізується сума квадратів компонент вектора - стовпця, який виробляє функція *fun* (це може бути також матриця). Другий аргумент  $x_0$  - стартова точка для пошуку.

При використанні функції *lsqnonlin*, у якій цільова функція є згорток вектора, можна задавати обмеження. Для функції *lsqnonlin* доступні тільки найпростіші обмеження типу  $lb \leq x \leq ub$ . Звертання до функції *lsqnonlin* у цьому випадку має вигляд:

$$x = \text{lsqnonlin}(\text{fun}, x_0, \text{lb}, \text{ub}, \text{options}, p_1, p_2, \dots) \quad (6.5)$$

Функція *lsqnonlin* може повернути досить багато вихідних параметрів:

**[x, resnorm, residual, e\_flag, inform, lambda, jacobian]=lsqnonlin(...)**

Вихідних аргументів:

**x** – вектор-розв'язок;

**resnorm** – значення цільової функції в знайдений точці;

**residual** - компоненти функції *fun*(*x*) у знайдений точці;

**e\_flag** - *e\_flag*=1 - розв'язок системи знайдений, *e\_flag*=0 - розв'язок системи не знайдений, *e\_flag*=-1 - досягнутий мінімум не є розв'язком системи;

**inform** – містить три поля:

**iterations** - кількість ітерацій, виконаних при пошуку кореня;

**funcount** - кількість звертань до функції *fun*;

**algorithm** - найменування алгоритму, використаного для знаходження кореня;

**lambda** - вектор множників Лагранжа;

**jacobian** – якобіан функції *fun* у знайдений точці.

До функції *Isqnonlin* ідейно близька функція *fminimax*, в обох скалярна цільова функція не задається безпосередньо у зверненні, а формується шляхом згортки з компонентів вектора (або матриці), переданого функції. В *Isqnonlin* мінімізується сума квадратів компонент, а в *fminimax* - максимальний компонент. Алгоритм, реалізований в *fminimax*, багаторазово використовує квадратичне програмування, а також пошук за допомогою градієнта й гесіана.

Усі функції оптимізації включають у список своїх вхідних параметрів перелік властивостей, що впливають на хід ітераційних процесів. Ці властивості представлені структурою *options*, поля якої формуються за допомогою функції *optimset*. Завдання значення будь-якої властивості проводиться парою параметрів функції *optimset*, перший з яких представляє найменування властивості, а другий - його значення:

$$\mathbf{options} = \mathbf{optimset('name1', vall, 'name2', val2, \dots)}; \quad (6.6)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{fxxx(fun, x_0, \dots, options, p_1, p_2, \dots)} \quad (6.7)$$

Перед вхідним параметром *options* може розташовуватися деяка кількість вхідних параметрів, перелік яких для кожної функції оптимізації індивідуальний.

Параметри  $p_1, p_2, \dots$ , розташовувані слідом за структурою *options*, передаються оптимізованій функції разом з незалежним аргументом  $x$  –  $fun(x, p_1, p_2, \dots)$ . У табл. 6.1 наведений список параметрів, керуючих процесом знаходження мінімуму функцій.

## 6.2 Хід роботи

6.2.1. Вивчити особливості користування пакету *optimization toolbox* програмного засобу MatLAB.

Таблиця 4.1. Перелік параметрів, які керують процесом пошуку мінімуму функції

MaxFunEvals	максимальна кількість звернень до функції fun
MaxIter	максимальна кількість ітерацій
TolFun	припинення ітерацій при досягненні точності по значенню функції
TolX	припинення ітерацій при досягненні мінімального кроку по X

6.2.2 Відповідно свого індивідуального завдання створити цільові функції для застосування методів оптимізації.

6.2.3 Визначити оптимальні значення цільової функції методом Нелдера-Мида застосовуючи функцію *fminsearch*.

6.2.4. Визначити оптимальні значення цільової функції метод Гаусса-Ньютона и Левенберга-Марквардта, застосовуючи функцію *lsqnonlin*.

6.2.5. Провести порівняльний аналіз двох методів оптимізації при заданій точності  $1e-3$ ,  $1e-5$  та  $1e-10$  за критеріями: кількість ітерацій та час розрахунку.

### 6.3 Контрольні запитання

1. Чим, та в яких умовах застосовуються методи оптимізації Нелдера-Мида та Гаусса-Ньютона и Левенберга-Марквардта?

2. У якій формі має вигляд цільова функція при застосуванні метода Нелдера-Мида?

3. У якій формі має вигляд цільова функція при застосуванні метода Гаусса-Ньютона та Левенберга-Марквардта.

4. Який метод має найменшу кількість ітерації та час розрахунку?



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна література

1. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике [Текст] / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгедел. - М: Мир, 1986. – 351с.
2. Черногудский, И.Г. Методы оптимизации в теории управления [Текст] / И.Г. Черногудский. - СПб.: Питер, 2004. – 256с.
3. Бойко, И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации [Текст] / И.В. Бойко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 512с.
4. Сухарев, А.Г. Курс методов оптимизации [Текст] / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 368с.
5. Банди, Б. Методы оптимизации [Текст] / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. - 128с.
6. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах [Текст] / И.Л. Акулич. - М.: Высш. шк., 1986. – 319с.
7. Руденко, В.С. Преобразовательная техника [Текст] / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – Киев: Вища школа, 1983. – 431с..
8. Шавьолкін, О.О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник / О.О. Шавьолкін, О.М.Наливайко. – Краматорськ: ДДМА, 2008. - 326с.
9. Дашченко, А. Ф. MATLAB в инженерных и научных расчетах [Текст] / А. Ф. Дашченко, В. Х. Кириллов, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей. – Одесса: Астропринт, 2003. – 210с.

### Додаткова література

10. Власенко Р. В. Аналіз енергетичних процесів в трифазному силовому активному фільтрі з використанням спектрального моделювання / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 12-18.
11. Міщенко Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 19-28.

12. Трушевський В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 29-31.

13. Ершов А. В. Конвективный и лучистый теплообмен при плавлении проволоки в струе дуговой плазмы / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 37-42.

14. Крисан Ю. О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода / Ю. О. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 49-54.

15. Ярымбаш Д. С. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса графитации при модернизации боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 132/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія. 2012. С. 93–100

16. Сивокобыленко В. Ф. Совершенствование пусковых органов бавр в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой / В. Ф. Сивокобыленко, С. В. Деркачев // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 61-67.

17. Килимник И.М. Повышение эффективности обработки информации при регистрации контролируемых параметров в системах автоматического управления / И.М. Килимник, Д.С. Ярымбаш // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2007. – № 1. – С. 68 – 73

18. Ткаченко С. Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине / С. Н. Ткаченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 68-73.

19. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности управления режимами электрического обогрева при прессовании заготовок подовых блоков / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. – Запорожье: ЗНТУ, 2006. – № 2. – С. 56 – 60.

20. Немудрый И. Ю. Повышение эффективности преобразования энергии в ветроэлектрических установках с аэродинамической мультипликацией / И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 79-86.

21. Андриенко П.Д. Особенности моделирования температурного состояния технологической системы как объекта

управления / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // *Електромашинобудування та електрообладнання*, 2006. №66 – С. 291–293.

22. Морозов Д. І. Вентильний двигун постійного струму на базі синхронної машини оберненої конструкції / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 6-12.

23. Власенко Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 20-27.

24. Ярымбаш С. Т. Идентификация характеристик системы резистивно-индукционного нагрева для транспортировки хлора методами математического моделирования / С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, Д. С. Ярымбаш, Д. А. Литвинов // *Материалы МНТК «ПАЭП. Теория и практика»*. – Харьков, 2010. – С. 320–324.

25. Михайленко В. В. Аналіз електромагнітних процесів у дванадцятипульсному напівпровідниковому перетворювачі з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги / В. В. Михайленко, В. І. Чибеліс, Ю. П. Орлиця, О. Р. Трофименко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 28-31.

26. Андриенко П. Д. Особенности непрерывного контроля характеристик влагосодержания изоляции маслонаполненного электрооборудования / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй, Л. С. Скрупская // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 32-40.

27. Ярымбаш Д. С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона / Д. С. Ярымбаш // *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, 2014. №6 – С. 11 – 21.

28. Задорожня И. Н. Анализ свойств систем автоматического управления двухмассовым электроприводом при синтезе параметров на основе стандартных характеристических полиномов / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 54-58.

29. Ярымбаш Д. С. Численно-полевой анализ электромагнитных и электротепловых процессов в шинных пакетах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Ползуновский вестник*. – 2013. – №4-2. – С. 216–222

30. Тиховод С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения / С. М. Тиховод // *Электротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 59-68.

31. Кулинич Э. М. Уточнение модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона / Э. М. Кулинич // *Электротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 69-76.

32. Волков В. А. Оценка возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях днепровского каскада Украины / В. А. Волков // *Электротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 77-82.

33. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров электрической схемы замещения печной петли печи графитации переменного тока [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // *Электротехніка та електроенергетика*. – 2010. №2. – С. 36 – 43.

34. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // *Электротехніка та електроенергетика*. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

35. Ярымбаш Д.С. Особенности измерения переменного тока в токоподводах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Электротехніка та електроенергетика*. – 2005. - №1. – с. 74 – 76.

36. Ярымбаш, Д. С. Исследование электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах графитации переменного и постоянного тока / Д. С. Ярымбаш // *Науковий вісник НГУ* – 2015. – №3. – С.95–102.

37. Ярымбаш, Д.С. Повышение энергоэффективности бокового шинопакета печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш // *Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність*. – 2011, С. 229 – 233.

38. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мундштука пресса / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // *Вісник кременчуцького державного політехнічного університету*. – 2007. – №4 (45) Частина 1. – С. 53–55.

39. Ярымбаш, Д. С. Особливості розподілення магнітних потоків у режимі неробочого ходу силових трансформаторів / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 5-12.

40. Ярымбаш Д. С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 12-17.

41. Yarymbash D.S. On specific features of modeling electromagnetic field in the connection area of side busbar packages to graphitization furnace current leads / D.S.Yarymbash, A.M. Oleinikov // Russian Electrical Engineering, 2015, Vol.86, Issue 2, pp. 86 – 92.

42. Ярымбаш Д.С. Моделирование температурных режимов электротехнологической системы «индукторы - мундштук» на подготовительном этапе тура прессования / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. 2006. № 1. - С. 56-60.

43. Коцур М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой импульсного регулирования / М.И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2013 –№1 – С.31-36.

44. Коцур, М. И. Особенности ударного теплового воздействия на асинхронный двигатель с модифицированной системой импульсного регулирования в условиях частых пусков / М. И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2014 – №1 – С. 32 – 36.

45. Коцур М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2015. – №1/8(73). – С.27-30.

46. Андриенко П.Д. Применение методов математического моделирования для определения параметров индуктора / П.Д. Андриенко, И.М. Коцур, Д.С. Ярымбаш // Вестник СевНТУ – Севастополь, 2008. – Вып. 88. – С. 117 – 120.

47. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок / М. И. Коцур, И. М. Коцур, Н. С. Иваницкий, Д. А. Кравченко, В. Г. Савельев // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. №25(101) – С. 9 – 16.

48. Ярымбаш Д. С. Применение адаптированных схемных моделей для расчета токов короткой сети мощных электротехнических комплексов / Д. С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. №2. – С. 72–76.

49. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V Bliznyakov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. - №4 – С. 49-54.

50. Ярымбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Електротехніка та електроенергетика – 2016. – №2 – С. 43 – 50.

51. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // Електротехніка та електроенергетика. - 2014 - № 1 - С. 74-78.

52. Yarymbash, D., Kotsur, M., Subbotin, S., Oliinyk, A. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines. IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, 2017, Catalog Number CFP17CDT-USB, pp. 452-457.

53. Ярымбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Електротехніка та електроенергетика – 2017. – №1– С. 24 – 30.

54. Дивчук, Т. Э. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Кильмник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2. - С. 56-66.

55. Kotsur, M. A New Approach of the Induction Motor Parameters Determination in Short-Circuit Mode by 3D Electromagnetic Field Simulation [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kotsur // International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), October 17th - 20th, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 207-210

56. Kotsur, M. I. Increasing of Thermal Reliability of a Regulated Induction Motor in Non-Standard Cycle Time Conditions [Text] / M. I. Kotsur, I.M. Kotsur, Yu. Bezverkhnia, D. Andrienko // IEEE: International

Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 88-91

57. Ярымбаш Д. С. Идентификация электрических параметров шихтованных шинных пакетов мощных коротких сетей / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // *Электротехника та електроенергетика*. – 2012. – № 2. – С. 55 – 61.

58. Yarymbash D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk, D. Litvinov // *IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2017, pp. 132-135.

59. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnia // *IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2018.

60. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // *IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2018.

61. Дивчук, Т.Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования / Дивчук, Т.Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2017. – № 1. - С. 61-70.

62. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров печной петли мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *«Электротехника и электромеханика»*. – 2012. №1. – С. 49 – 54.

63. Ярымбаш, Д.С. Особенности контроля электрических параметров, мощности и энергопотребления во время кампании графитации в печи переменного тока / Ярымбаш Д.С., Ярымбаш С.Т., Тютюнник О.В. // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. – 2006, Вип. 3/2006(38), – С. 53 – 55.

64. Малюшевская А.П. Дослідження впливу підвищених температур на експлуатаційні властивості трансформаторного масла Т-1500 в плівкових ізоляційних системах / АП Малюшевская, АЯ

Дмитришин, СО Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2015. - №1. – С. 21-25.

65. Верещаго Е.Н. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK / Е.Н. Верещаго, В.И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. - №2. – С. 40-46.

66. Ярымбаш Д. С. Анализ энергоэффективности конструкции торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д. С. Ярымбаш, А. М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 26-34.

67. Иванков В. Ф. Электротепловые расчетные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 41-53

68. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета электродинамической стойкости шихтованных шинных пакетов короткой сети печи графитации / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Механіка. Енергетика. Екологія. 2014. – С. 131 – 136.

69. Ярымбаш Д. С. Влияние расположения заготовок электродов на распределение удельной мощности в керне печи Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 5-11

70. Ivankov V. F. Calculation of CFD-thermal models of oil-cooled transformer equipment / V. F. Ivankov, A. V. Basova // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 19-32.

71. Циценков Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / Д. В. Циценков, П. Ю. Красовський // Електротехніка та електроенергетика. 2015. № 1. С. 77–82.

72. Костін М. О. Енергетичні спектри випадкових процесів тягових напруг і струмів електротранспорту / М. О. Костін // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 71-80

73. Літвінов Д. О. Схемно-польове моделювання теплових процесів в асинхронних двигунах / Д. О. Літвінов, О. О. Шлянін, Т. В. Бондарчук, О. В. Стремідловська, Ріхам Матар // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 71-78

74. Остренко М. В. Расчет потерь в элементах конструкции силовых трансформаторов и реакторов методом конечных элементов с граничными условиями импедансного типа / М. В. Остренко, С. М.



Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 33-42.

75. Курись Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.

76. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.

77. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности силовоточных разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.

78. Мельников В. О. Компенсация влияния несимметрии обмоток статора асинхронного двигателя у системах векторного управления / В. О. Мельников, А. П. Калинов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

79. Остренко В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

80. Yarymbash, D. S. Computer simulation of electromagnetic field with application the frequency adaptation method / D. S. Yarymbash, S. T. Yarymbash, M. I. Kotsur, D. O. Litvinov // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. – № 1. – P. 65-74.

81. Курись Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.

82. Ярымбаш Д.С. Анализ энергоэффективности торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 23 – 30.

83. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.

84. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности силовоточных разрывных контактов в процессе

коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.

85. Мельников В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

86. Остренко В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

87. Тиховод С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 46–49.

88. Шкрабець Ф. П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт / Ф. П. Шкрабець, О. В. Остапчук, А. В. Кожевников, А. В. Акулов // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 50–54.

89. Волков В. А. Совершенствование частотного пуска гидроагрегата гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме / В. А. Волков, Д. В. Довбишук // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 55–61.

90. Літвінов В. В. Удосконалення методу оцінювання надійності схем релейного захисту / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 62–69.

91. Дьяченко В. В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В. В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 70–76.

92. Тиховод С. М. Расчет переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения с использованием полиномов Чебышёва / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 5-14.

93. Коваленко М. А. Автономный экспериментальный стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера / М. А. Коваленко, Д. С. Мацюк // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 15-20.

94. Дівчук, Т.Є. Уточнюючий підхід до визначення функціональних залежностей відносних магнітних проникностей анізотропних холоднокатаних електротехнічних сталей / Т.Є. Дівчук,

Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, І.М. Килимник, М.І. Коцур, Ю.С. Безверхня // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2018. – № 2. – С. 6-15.

95. Іванков В. Ф. Верифікація методів електротеплових розрахунків електричних реакторів без сталі / В. Ф. Іванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 26-34

96. Токмаков І. В. Моделирование электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях на основе использования полиномов чебышёва / И. В. Токмаков // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 35-41.

97. Сидорец В. Н. Особенности анализа распределения тока высокой частоты в осесимметричных электродах электрохирургических инструментов / В. Н. Сидорец, А. Г. Дубко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 42-47.

98. Тиховод С. М. Метод ускоренного численного расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения алгебраическими полиномами / С. М. Тиховод, Т. М. Корнус, Д. Г. Паталах // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 48-54.

99. Андриенко П.Д. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при индукционном нагреве мундштука прессы / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // *Разработка рудных месторождений*. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 163 – 167.

100. Ярымбаш Д.С. Особенности моделирования электромагнитного поля в зоне подключения боковых шинных пакетов к токоподводам печи графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // *Электротехника*. – М.: Знак. – №2. 2015. – С. 44 – 50.

101. Ярымбаш Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 65-70.

102. Міщенко Т. М. Геометричне трактування реактивної потужності та його зв'язок зі спектральним складом тягових напруги та струму швидкісних електровозів / Т. М. Міщенко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 81-86.

103. Скалько Ю. С. Удосконалення групового регулювання гідроагрегатів дніпровської гес за допомогою нечіткої логіки / Ю. С.

Скалько // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 95-99.

104. Коцур М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентиля преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного каскада / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 1. - С. 5-11.

105. Дивчук, Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килымник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 56-66.

106. Малюшевська А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короткочасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 1. - С. 18-24.

107. Yarymbash, D. Enhancing the effectiveness of calculation of parameters for short circuit of three-phase transformers using field simulation methods / D. Yarymbash, S. Yarymbash, M. Kotsur, T. Divchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2018. - Vol. 4, № 5 (94). - P. 22-28.

108. Цабенко М. В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М. В. Цабенко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 1. - С. 35-41.

109. Слободенюк Ю. О. Модель розрахунку миттєвих параметрів режиму системи тягового електропостачання при русі електровозу / Ю. О. Слободенюк, О. В. Бялобржеський // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 1. - С. 42-48.

110. Ярымбаш Д.С. Особенности обработки данных регистрации электрических параметров электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*, 2014. №2 – С. 59 – 65.

111. Ярымбаш Д. С. Оценка погрешности сенсоров тока автоматизированной системы управления технологическим процессом графитации / Д.С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // «*Електротехнічні та комп'ютерні системи*». - № 03(79) – 2011

112. Чередник Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки при паралельній та автономній роботі з урахуванням явища насичення магнітної системи генератора / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 49-56.

113. Ярымбаш Д.С. Идентификация параметров электродинамической стойкости короткой сети мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 487 – 490

114. Власенко Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії фрізе в умовах несиметрії / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 57-63.

115. Ярымбаш Д.С. Особенности оптимизации электрических режимов графитации / Д.С. Ярымбаш // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2014. – №15 (91). – С. 215 – 219.

116. Yarymbash, D. Analysis of inrush currents of the unloaded transformer using the circuitfield modelling methods / D. Yarymbash, S. Yarymbash, M. Kotsur, T. Divchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 3, № 5 (93). - P. 6-11.

117. Малюшевська А. П. Вплив морфологічних особливостей конденсаторних полімерних плівок на їх деформаційні властивості / А. П. Малюшевська, Г. М. Ющишина // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 13-18.

118. Ярымбаш Д.С. Идентификация электрических параметров торцевых ошинок печей сопротивления прямого действия / Д.С. Ярымбаш, А. М.Олейников, С. Т.Ярымбаш, И.М. Килимник // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. №36. –С. 466–470

119. Андрієнко П. Д. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу / П. Д. Андрієнко, С. І. Шило, О. О. Каплієнко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 51-58.

120. Золотаревский А. И. Исследование спектральной зависимости диэлектрической проницаемости некоторых полярных диэлектриков в диапазоне низких частот / А. И. Золотаревский, С. П. Луцин // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 6-11.

121. Малюшевська А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, В. І. Гунько // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 12-17.

122. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28

123. Ярымбаш Д.С. Исследование электромагнитных и электротепловых процессов в области торцевых шинных пакетов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. №11. – С. 60–68.

124. Качан Ю. Г. Застосування просторових електричних полів задля створення теплових перешкод у камерних печах / Ю. Г. Качан, А. А. Візер, А. В. Сибір // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 18-23.

125. Василенко О. В. Модель крокового двигуна для дослідження систем автоматичного позиціонування в ECAD / О. В. Василенко, Є .Л. Жавжаров // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 31-38.

126. Ярымбаш Д.С. Особенности распределения электрической мощности нагрева в керне печи графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – вип.. 37. – С. 94 – 100

127. Дзензерский В. А. Разработка алгоритма автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, В. В. Лисунова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 39-47.

128. Ярымбаш Д.С. Идентификация температурных зависимостей удельных электрических сопротивлений керна в процессе графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2014. №2. – С. 66 – 70.

129. Алексеевский Д. Г. Определение рабочей области иппн в составе электромеханической системы взу с переменной скоростью вращения / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 79-85.

130. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета токов короткого замыкания мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш // Электротехника та електроенергетика. - 2012. - № 1. - С. 23-30

131. Зиновкин В. В. Влияние нестационарных электромагнитных процессов на электромеханические параметры в синхронном электроприводе / В. В. Зиновкин, Н. Л. Антонов, Ю.А. Крисан // Электротехника та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 6-17.

132. Zirka S. E. Topological transient models of three-phase five-limb transformer / S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, D. Bonnman // Электротехника та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 18-25.

133. Ярымбаш Д.С. Метод частотной адаптации уравнений Максвелла для переменного тока к рекуррентным уравнениям в формулировках для постоянного тока / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління. – Севастороль. 2014. – С. 203 – 206

134. Мацуй А. М. Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків односпірального класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // Электротехника та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 38-49.

135. Ярымбаш Д.С. Выбор критерия энергоэффективности боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність – 2012.

136. Паталах Д. Г. Численный безытерационный метод моделирования электромеханических процессов в асинхронных двигателях / Д. Г. Паталах, С. М. Тиховод, Т. М. Корнус // Электротехника та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

137. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации электрических параметров контура печи графитации переменного тока методами полевого моделирования и оптимизации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014. – Севастороль. 2014. – С. 108 – 112.

138. Дивчук Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, М. И. Коцур, Ю. Безверхняя // Электротехника та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 56-66.

139. Лаврич Ю. М. Методологічний підхід до побудови енергоощадної системи аварійного освітлення / Ю. М. Лаврич, Л. М. Погоріла, А. Ю. Подчасов // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 67-73.

140. Шутенко О. В. Анализ динамики изменения критериев, используемых для интерпретации результатов арг, в исправных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения / О. В. Шутенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 74-83.

141. Лобов В. Й. Управління газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, А. В. Даць // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 84-95.

142. Милых В. И. Анализ гармонического состава переменного магнитного поля, связанного с вращающимся ротором турбогенератора, в режимах холостого хода и короткого замыкания / В. И. Милых, Н. В. Полякова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 5-13.

143. Китаев А. В. Схемы замещения электрических машин / А. В. Китаев, В. Л. Агбомассу, В. И. Глухова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 14-26.

144. Верещаго Е. Н. Модель электрической дуги в MATLAB / SIMULINK / Е. Н. Верещаго, В. И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 40-46.

145. Ершов А. В. Влияние магнитного поля проводника на течение металла на торце проволоки в дуговом разряде / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 62-65.

146. Пожуєв В. І. Визначення ефективності існуючих гідроенергетичних систем / В. І. Пожуєв, В. В. Радченко, Ф. П. Шкрабець, В. Г. Кучер, В. П. Кобець // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 71-76.

147. Олейников А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В. Матвеев, Е.И. Зарицкая // Електротехніка та електроенергетика. - 2010. - № 2. - С. 62 - 67

148. Гребеников В.В. Исследование влияния конфигурации



магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами / В.В. Гребеников, М.В. Прымак // Электротехника та електроенергетика. – 2009. - №2. - С. 57-60.

149. Андриенко П. Д. Преобразователи частоты для электропередачи железнодорожного электротранспорта / П. Д. Андриенко, В. Д. Лобода, А. В. Мищенко // Электротехника та електроенергетика. – 2001. – № 1. – С. 55–58.

150. Канов Л. Н. Схемное моделирование электроэнергетических систем переменного тока / Л. Н. Канов // Электротехника та електроенергетика. – 2004. – № 1. – С. 5–9.

151. Лучко, А. Р. Имитационное моделирование электромагнитных процессов в магнитосвязанных электрических цепях [Текст] / А. Р. Лучко, Т. В. Попова // Электротехника та електроенергетика. - 2009. - № 1. - С. 16-22

152. Яримбаш Д. С. Розрахунок параметрів головних шинних пакетів секцій печей графітації змінного струму [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. ISBN 978-617-529-171-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2682>

153. Килимник І. М. Диференціальні рівняння : навчальний посібник / І. М. Килимник, Д. С. Яримбаш. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 102 с. ISBN 978-617-529-197-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3376>