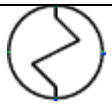
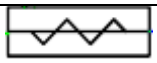
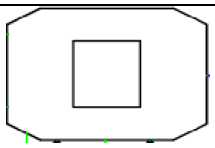
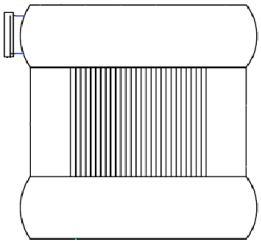
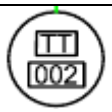
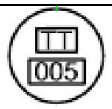
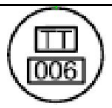
н/п	Зображення елемента	Опис
1		Вентилятор осьового типу
2		Асинхронний двигун змінного струму
3		Керуючий клапан з електроприводом
4		Теплообмінник
5		Захисний підривний клапан
6		Вентиль
7		Шнековий транспортер
8		Спалювач (пальник)
9		Котлоагрегат
10		Ділянка трубопроводу загального призначення
11		Контрольний сигнал
12		Давач температури спалювача зони 1
13		Давач температури спалювача зони 2
14		Давач температури спалювача зони 3
15		Давач температури димових газів «після» економайзера

16		Давач температури води «після» економайзера
17		Давач температури води «до» економайзера
18		Давач температури димових газів «до» економайзера
19		Давач температури димових газів в димоході
20		Давач надлишкового тиску пари в котлоагрегаті
21		Давач диференційного тиску рівня води в верхньому барабані
22		Давач диференційного тиску розрідження в топці котлоагрегату
23		Частотний перетворювач регулювання обертами двигуна асинхронного струму шнеку подачі 1
24		Частотний перетворювач регулювання обертами двигуна асинхронного струму шнеку подачі 2
25		Частотний перетворювач регулювання обертами двигуна асинхронного струму вентилятора подачі повітря в топку 1
26		Частотний перетворювач регулювання обертами двигуна асинхронного струму вентилятора подачі повітря в топку 2
27		Частотний перетворювач для регулювання обертами двигуна асинхронного струму димососа
28		Програмований логічний контролер закритого доступу
29		Людино-машинний інтерфейс відкритого типу

Додаток А

Умовні графічні позначення структурної схеми котла

Додаток Б

Програмний код ПІД-регулятора

```
FUNCTION_BLOCK PID_C
VAR_INPUT
	(*System section*)
	iNum:WORD; (*Номер регулятора*)

	(*Block section*)
	bRegDirect: BOOL;	(*Напрям роботи регулятора*)
	Q_Min:REAL;		(*Обмеження виходу*)
	Q_Max:REAL;
END_VAR
VAR_IN_OUT
	(*System section*)
	COM_SA:DWORD; (*commArea Start poiner*)
	DB:pidStruct;

	(*Block section*)
	PV:REAL;(*Physical input*)
	Q:REAL; (*Physical output*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
END_VAR
VAR
	(*System section*)
	COM_OpSA:DWORD;(*Start adress*)
	COM_OpShA:DWORD;(*Shifted Address*)
	DB_OpSA: DWORD; (*start element in global data base*)
```

```
        DB_OpShA:DWORD;(*database shifted address*)
        StructSize:DWORD; (*Struct size*)

        (*Block section*)
        error: REAL := 0.0;
        PID_Sum: REAL := 0.0;
        Saturation: REAL := 0.0;
        derivSum: REAL := 0.0;              (**)
        derivValue: REAL := 0.0;            (**)
        Integrator: REAL := 0.0;            (**)
        A:REAL;(*Safety*)
        R_FRONT: R_TRIG;
        F_FRONT: F_TRIG;

        plcManOutFN: F_TRIG;
(*TEMP*)
        tDw1:DWORD;
        tDw2:DWORD;
        tDw3:DWORD;
END_VAR

(*Секція копіювання*)
(*Розрахунок розміру блоку даних регуляторів*)
StructSize := SIZEOF(DB.Op);
(*Розрахунок комунікаційних адрес поточного регулятора*)
COM_OpSA := COM_SA; (*ADR(COM_SE);*)
COM_OpShA := COM_OpSA + StructSize * iNum;
DB_OpSA := ADR(DB.Op);
(**)
SysMemCpy (DB_OpSA, COM_OpShA, StructSize);
```

```
(*BLOCK STARTS HERE*)
(*####################*)

(*Секція роботи над статусами регулятора*)
(*Статус ручна робота*)
DB.Op.Sta.sta08.0 := DB.Op.Cmd.cmd08.0 (*manual =1,auto=0*);
(*Статус локальне завдання*)
DB.Op.Sta.sta08.1 := DB.Op.Cmd.cmd08.1;

(*Значення входу регулятора*)
DB.Op.Sta.PV := PV;

(*Опрацювання локальних завдань регулятора*)
IF DB.Op.Cmd.cmd08.1 (*SPLoc =1,SPAuto=0*) THEN
        DB.Op.Sta.SP := DB.Op.Cmd.LocSp;
ELSE
        DB.Op.Sta.SP := DB.PlcCmd.AutoSp;
END_IF

(*Визначення напямку роботи решуятора прямий чи зворотній*)
IF bRegDirect THEN
         error := DB.Op.Sta.SP - DB.Op.Sta.PV ;
ELSE
              error := DB.Op.Sta.PV - DB.Op.Sta.SP ;
END_IF

 (*Реалізація алгоритму без стресового переходу автоматичний-ручний і навпа-
        ки*)
R_FRONT ( CLK := DB.Op.Cmd.cmd08.0 (*manual =1,auto=0*) );
F_FRONT ( CLK := DB.Op.Cmd.cmd08.0 (*manual =1,auto=0*) );
```

```
plcManOutFN(CLK := DB.PlcCmd.cmd01.1(*Plc man LMN*));

IF R_FRONT.Q THEN
        DB.Op.Cmd.ManLMN := DB.Op.Sta.LMN;
ELSIF F_FRONT.Q THEN
        Integrator := DB.Op.Cmd.ManLMN - ( error * DB.Op.Cmd.K );
ELSIF plcManOutFN.Q THEN
        Integrator := DB.PlcCmd.manLMN - ( error * DB.Op.Cmd.K );
END_IF

IF DB.PlcCmd.cmd01.1 (*PLC manual =1,auto=0*) AND DB.Op.Cmd.cmd08.0
        (*manual =1,auto=0*) OR DB.Op.Cmd.cmd08.0 (*manual =1,auto=0*) THEN
        (*Ручна робота з панелі оператора*)
        PID_Sum := DB.Op.Cmd.ManLMN;
ELSIF DB.PlcCmd.cmd01.1 (*PLC manual =1,auto=0*) THEN
        (*Ручна робота регулятора*)
        PID_Sum := DB.PlcCmd.manLMN;
ELSIF NOT DB.PlcCmd.cmd01.1 AND NOT DB.Op.Cmd.cmd08.0 AND
        DB.PlcCmd.cmd01.0 THEN
        (*Визначення диференціалу і опрацвання суми регулятора*)
        derivValue := ((error * DB.Op.Cmd.D) - derivSum);
        derivSum := derivSum + derivValue;
        Integrator := Integrator + error * DB.Op.Cmd.I + (DB.Op.Sta.LMN -
        PID_Sum);
        PID_Sum := ((error * DB.Op.Cmd.K) + Integrator) + derivValue;
ELSE
        PID_Sum := 0;
END_IF

(*Обробка обмежень виходів*)
```

```
IF PID_Sum <= DB.Op.Cmd.LMN_Min THEN
        DB.Op.Sta.LMN := DB.Op.Cmd.LMN_Min;
ELSIF PID_Sum >= DB.Op.Cmd.LMN_Max THEN
        DB.Op.Sta.LMN := DB.Op.Cmd.LMN_Max;
ELSE
        DB.Op.Sta.LMN := PID_Sum;
END_IF

(*Масштабування фізичного виходу*)
A := DB.Op.Cmd.LMN_Max - DB.Op.Cmd.LMN_Min;
IF A <> 0 THEN
        Q := DB.Op.Sta.LMN * ((Q_Max - Q_Min) / A) + Q_Min;
ELSE
        Q:=0;
END_IF

(*Скид команди запуску ПІД*)
DB.PlcCmd.cmd01 := 0;

(*####################*)
 (*Копіювання даних в область збереження даних регуляторів*)
SysMemCpy (COM_OpShA, DB_OpSA, StructSize);
```

Додаток В

Програмний код нейро-адаптивного блоку

```
%% Очищення змінних, підготування середовища
warning off;
clc;
clear all;
close all;

%% Конфігурація, параметри
dilD = 0;
dilK = 0.1;
dilI = 0.1;

%% Підготування моделі нейро-емулятора
open ('steamboiler_NN_3layers_01');
sim ('steamboiler_NN_3layers_01');
outputs = [0,0,0];

%% Конфігурація параметрів нейро-мережі
nbrOfNeuronsInEachHiddenLayer = [50 50 50];
nbrOfOutUnits = 3;
unipolarBipolarSelector = 0;

learningRate = 0.15;
nbrOfEpochs_max = 500000;

enable_resilient_gradient_descent = 1; %1 for enable, 0 for disable
learningRate_plus = 0.1;
learningRate_negative = 0.5;
deltas_start = 0.1;
deltas_min = 10^-6;
deltas_max = 50;

enable_decrease_learningRate = 0;
learningRate_decreaseValue = 0.01;
min_learningRate = 0.05;

enable_learningRate_momentum = 1;
momentum_alpha = 0.05;

draw_each_nbrOfEpochs = 500;

%% Зчитування даних, нормалізація даних
```

```
inDataSetMin = repmat(min(NN_Adapt_IN),length(NN_Adapt_IN(:,1)),1);
inDataSetMax = repmat(max(NN_Adapt_IN),length(NN_Adapt_IN(:,1)),1);

inDataSetNorm = (NN_Adapt_IN-inDataSetMin)./(inDataSetMax-inDataSetMin);

Samples = inDataSetNorm(:,[1 2 3]);

%% Розрахунок кількості вхідних і вихідних нодів
nbrOfInputNodes = length(Samples(1,:));
nbrOfLayers = 2 + length(nbrOfNeuronsInEachHiddenLayer);
nbrOfNodesPerLayer = [nbrOfInputNodes nbrOfNeuronsInEachHiddenLayer
nbrOfOutUnits];

%% Додання зміщення як нодів із 1
nbrOfNodesPerLayer(1:end-1) = nbrOfNodesPerLayer(1:end-1) + 1;
Samples = [ones(length(Samples(:,1)),1) Samples];

%% Цільові виходи
TargetOutputs = TargetClasses;

%% Ініціалзіація важиків рандомом.
Weights = cell(1, nbrOfLayers);
Delta_Weights = cell(1, nbrOfLayers);
ResilientDeltas = Delta_Weights;

for i = 1:length(Weights)-1
   Weights{i} = 2*rand(nbrOfNodesPerLayer(i), nbrOfNodesPerLayer(i+1))-1;
   Weights{i}(:,1) = 0;    Delta_Weights{i} = zeros(nbrOfNodesPerLayer(i),
nbrOfNodesPerLayer(i+1));
   ResilientDeltas{i} = deltas_start*ones(nbrOfNodesPerLayer(i),
nbrOfNodesPerLayer(i+1));
end
Weights{end} = ones(nbrOfNodesPerLayer(end), 1);
Old_Delta_Weights_for_Momentum = Delta_Weights;
Old_Delta_Weights_for_Resilient = Delta_Weights;

NodesActivations = cell(1,nbrOfLayers);
for i = 1:length(NodesActivations)
   NodesActivations{i} = zeros(1,nbrOfNodesPerLayer(i));
end
NodesBackPropagatedErrors = NodesActivations;
zeroRMSReached = 0;
nbrOfEpochs_done = 0;
```

```
%% Ітерація даних

set_param('steamboiler_NN_3layers_01','SimulationCommand','start','SimulationCom
mand','pause');

for Epoch = 1:nbrOfEpochs_max

set_param('steamboiler_NN_3layers_01','SimulationCommand','continue','Simulation
Command','pause');
   pause(0.01);

   inDataSetNorm = (NN_Adapt_IN(end)-inDataSetMin)./(inDataSetMax-
inDataSetMin);

   Samples = inDataSetNorm(end,[1 2 3]);
   Samples = [ones(length(Samples(:,1)),1) Samples];
   TargetClasses = NN_Adapt_IN(end,4)*-1;
   TargetOutputs = inDataSetNorm(end,4)*-1;

   for Sample = 1:length(Samples(:,1))
      %% Зворотнє поширення помилки навчання
      %Прямий прохід
      NodesActivations{1} = Samples(Sample,:);
      for Layer = 2:nbrOfLayers
         NodesActivations{Layer} = NodesActivations{Layer-1}*Weights{Layer-1};
         NodesActivations{Layer} = Activation_func(NodesActivations{Layer},
unipolarBipolarSelector);
         if (Layer ~= nbrOfLayers)
            NodesActivations{Layer}(1) = 1;
         end
      end

      % Зворотній прохід, збереження важиків
      NodesBackPropagatedErrors{nbrOfLayers} =  TargetOutputs(Sample,:)-
NodesActivations{nbrOfLayers};
      for Layer = nbrOfLayers-1:-1:1
         gradient = Activation_func_drev(NodesActivations{Layer+1},
unipolarBipolarSelector);
         for node=1:length(NodesBackPropagatedErrors{Layer})
NodesBackPropagatedErrors{Layer}(node) =
sum(NodesBackPropagatedErrors{Layer+1} .* gradient .* Weights{Layer}(node,:) );
          end
      end
```

```
      % Зворотній прохід, розрахунок різниці важиків
      for Layer = nbrOfLayers:-1:2
         derivative = Activation_func_drev(NodesActivations{Layer},
unipolarBipolarSelector);
         Delta_Weights{Layer-1} = Delta_Weights{Layer-1} +
NodesActivations{Layer-1}' * (NodesBackPropagatedErrors{Layer} .* derivative);
      end
   end

   %% Примінення градієнту до важиків.
   if (enable_resilient_gradient_descent)
      if (mod(Epoch,200)==0)
         for Layer = 1:nbrOfLayers
            ResilientDeltas{Layer} = learningRate*Delta_Weights{Layer};
         end
      end
      for Layer = 1:nbrOfLayers-1
         mult = Old_Delta_Weights_for_Resilient{Layer} .* Delta_Weights{Layer};
         ResilientDeltas{Layer}(mult > 0) = ResilientDeltas{Layer}(mult > 0) *
learningRate_plus;
         ResilientDeltas{Layer}(mult < 0) = ResilientDeltas{Layer}(mult < 0) *
learningRate_negative;
         ResilientDeltas{Layer} = max(deltas_min, ResilientDeltas{Layer});
         ResilientDeltas{Layer} = min(deltas_max, ResilientDeltas{Layer});

         Old_Delta_Weights_for_Resilient{Layer} = Delta_Weights{Layer};

         Delta_Weights{Layer} = sign(Delta_Weights{Layer}) .*
ResilientDeltas{Layer};
      end
   end
   if (enable_learningRate_momentum)
      for Layer = 1:nbrOfLayers
         Delta_Weights{Layer} = learningRate*Delta_Weights{Layer} +
momentum_alpha*Old_Delta_Weights_for_Momentum{Layer};
      end
      Old_Delta_Weights_for_Momentum = Delta_Weights;
   end
   if (~enable_learningRate_momentum && ~enable_resilient_gradient_descent)
      for Layer = 1:nbrOfLayers
         Delta_Weights{Layer} = learningRate * Delta_Weights{Layer};
      end
   end
```

```
    %% Зворотній прохід обновлення важиків
    for Layer = 1:nbrOfLayers-1
        Weights{Layer} = Weights{Layer} + Delta_Weights{Layer};
    end

    % Скид різниці між важиками в 0
    for Layer = 1:length(Delta_Weights)
        Delta_Weights{Layer} = 0 * Delta_Weights{Layer};
    end

    %% Прямий прохід

    for Sample = 1:length(Samples(:,1))
        outputs = EvaluateNetwork(Samples(Sample,:), NodesActivations, Weights,
    end

    %% Обновлення коефіцієнтів виходами нейро-адаптивного блоку
    dilK = outputs(1);
    dilI = outputs(2);
    dilD = outputs(3);

    %% Обновлення моделі нейро-емулятора новими даними
    set_param('steamboiler_NN_3layers_01', 'SimulationCommand', 'update');

    if (MSE(Epoch) == 0)
        zeroRMSReached = 1;
    end
end
```

Додаток Г

Копія публікації

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Харківський національний університет радіоелектроніки
Національний університет «Львівська політехніка»
Вінницький національний технічний університет
Асоціація фахівців комп'ютерних інформаційних технологій

МАТЕРІАЛИ
VI Всеукраїнської школи-семінару
молодих вчених і студентів

СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ADVANCED COMPUTER INFORMATION TECHNOLOGIES

20-21 травня 2016 року

ACIT'2016

Тернопіль
ТНЕУ
2016

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ