

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра приладобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (Інформаційно вимірювальні системи та технології точної механіки) _____
(код і назва спеціальності)

на тему: Дослідження функціональних можливостей турбінних витратомірів за різних умов застосування

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи ПІ-61м
(шифр групи)

Франків Олег Михалович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Писарець А.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Стартап _____ доцент, к.е.н. Бояринова К.О. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Приладобудівний
(повна назва)

Кафедра Приладобудування
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) 152 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (Комп'ютерно-інтегровані технології та системи точної механіки)

—

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М. Д. Гераїмчук
(ініціали, прізвище)

(підпис)

« » 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Франківу Олегу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Дослідження функціональних можливостей турбінних витратомірів за різних умов застосування**

науковий керівник дисертації Писарець Анна Валеріївна, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « » 20 р. №

2. Строк подання студентом дисертації 10 травня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження процес вимірювань витрати за різних умов застосування

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) турбінний витратомір

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. Огляд літератури за темою, вибір та обґрунтування напрямів і методів дослідження. Розробка математичної моделі турбінного витратоміра. Визначення метрологічних характеристик турбінного витратоміра. Моделювання роботи турбінного витратоміра. Оптимізація конструкції витратоміра. Аналіз і узагальнення результатів досліджень

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: презентаційний аркуш ф. А1; матеріали досліджень 6 арк. Ф. А1; презентація у Microsoft Power Point

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 доповіді на науково-технічних конференціях, 1 стаття у фаховому виданні

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6	Бояринова К.О., доцент	10.04.18	10.05.18

9. Дата видачі завдання 14.03.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою	14.03.18 – 29.03.18	
2	Розробка математичної моделі турбінного витратоміра	30.03.18 – 16.04.18	
3	Визначення метрологічних характеристик турбінного витратоміра	10.04.18 – 20.04.18	
4	Моделювання роботи турбінного витратоміра	16.04.18 – 26.04.18	
5	Оптимізація конструкції витратоміра	23.04.18 – 26.04.18	
6	Аналіз отриманих результатів	27.04.18 – 06.05.18	
7	Оформлення МД та її графічної частини	07.05.18	
8	Передача МД на перевірку науковому керівнику	08.05.18	

9	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів	09.05.18	
10	Представити МД на рецензію	10.05.18	
11	Представити МД на затвердження зав. кафедри	11.05.18	
12	Передача електронної версії МД о бібліотеки	17.05.18	
13	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	18.05.18	

Студент

(підпис)

О. М. Франків

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

А. В. Писарець

(ініціали, прізвище)

ВИСНОВКИ

Проведені у роботі дослідження дозволяють поглибити уявлення про функціональні можливості застосування турбінних витратомірів.

Головний зміст отриманих результатів може бути окреслений наступним.

1. Узагальнені наявні відомості про методи вимірювання масової витрати, означені шляхи розширення функціональних можливостей турбінних витратомірів.
2. Побудовано математичну модель турбінного витратоміра на підґрунті особливостей розподілу швидкостей потоку вимірюваного середовища у кінцевому каналі.
3. На основі математичного апарату створено програмне забезпечення моделювання явищ, що вивчаються, проведено теоретичні дослідження впливу параметрів конструкції перетворювача витрати та умов застосування на метрологічні характеристики приладу.
4. Розв'язано задачу оптимізації конструкції перетворювача витрати за створеним алгоритмом, що реалізує метод прямого пошуку, для оцінки значень обґрунтованих цільових функцій відповідно до обраних критеріїв у межах зміни проектних параметрів. За результатами оптимізації отримано значення проектних параметрів за яких похибка вимірювання не перевищує 0,5% в діапазоні витрат від 0,3 до 90 м³/год;
5. проведено експериментальне вивчення втрати тиску на приладі та визначено ступінь адекватності результатів математичного моделювання експериментальним даним. З рівнем значущості 5% підтверджено запропоновану методику розрахунків.
6. Розроблено стартап – проект, що обґрунтовує можливості подальшої комерціалізації отриманих результатів та застосування розробленої концепції в промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Происхождение нефти и ее свойства [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <https://promdevelop.ru/proishozhdenie-nefti-i-ee-svoystva/>
2. ГОСТ Р 8.610-2004 Плотность нефти. Таблицы пересчета.
3. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 1. Механика. Молекулярная физика: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 432с.
4. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 718 с.: ил.
5. Повх И.Л. Техническая гидромеханика.
6. flow meter types [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.flowmeterdirectory.com/flowmeter_artc/flowmeter_artc_02020102.html
7. Technical learnings [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.omega.com/literature/litdownload.html>
8. Тахометрические расходомеры с температурной коррекцией плотности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/2216412/page:3/>
9. Кориолисовые и турбосиловые расходомеры [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://zebu.uoregon.edu/~js/glossary/coriolis_effect.html
10. ESPI Flow Meters расходомеры [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.espimetals.com/metals/hastelloy.pdf
11. Массовые расходомеры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>
12. Патент України на корисну модель UA 123674 U, G01F 7/00, G01F 1/11. Спосіб визначення витрати рідини турбінним витратоміром / В.М. Федоров, О.М. Франків, А.В. Писарець, І.В. Коробко. – № u201707148; заявл. 07.07.2017; опубл. 12.03.2018. – Бюл. № 5.

13. Коробко І. В. Дослідження моменту в'язкого тертя в швидкісних турбінних перетворювачах витрат / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вестник НТУУ «КПІ». Серія Машиностроение. – 2003. – випуск № 44. – С. 233 – 235.
14. Писарець А. В. Визначення врівноважуючої сили турбінного витратоміра із гідродинамічним врівноваженням ротора / А. В. Писарець, І. В. Коробко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2004. - № 4. – С. 115 – 120.
15. Писарець А. В. Визначення осевого зусилля в турбінному первинному перетворювачі витрат з гідродинамічним врівноваженням ротора / А. В. Писарець, І. В. Коробко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2005. - № 2 (40). – С. 67 – 70.
16. Писарець А. В., Определение осевого перемещения чувствительного элемента турбинных преобразователей расхода с уравновешенным ротором / А. В. Писарець, И. В. Коробко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 6 (96). – С. 150 – 154.
17. Коробко І. В. Методи компенсації силової дії на опори чутливих елементів турбінних перетворювачів витрати рідин / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2011. – Вип. 42. – С. 5 – 13.
18. Коробко І. В. Аналитическое описание уравновешивающей силы турбинного преобразователя расхода / И. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія машинобудування. – 2014. – Вип. 70 (1). – С. 166 – 170.
19. Коробко І. В. Дослідження впливу форми чутливого елемента на динамічні характеристики турбінних перетворювачів витрати / І. В. Коробко, А. В. Писарець, І. В. Фісунов // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2015. – №49 (1). – С.14 – 20.
20. Коробко І. В. Дослідження рівняння руху первинного перетворювача швидкісних засобів вимірювання витрат енергоносіїв / І. В. Коробко, А. В.

- Писарець // Вестник НТУУ «КПІ». Серія Машиностроение. – 2002. – выпуск № 42, Том 2, С. 42 – 45
21. Gryshanova I. CFD modeling of turbine flowmeters. / I. Gryshanova, I. Korobko // Innovationson discrete productions.–2014. – №1. – P. 6 – 8.
22. Коробко І. В. Визначення рушійного моменту на чутливому елементі перетворювача витрати повітря / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія машинобудування. – 2012. – № 66. – С. 178 – 182.
23. Писарець А. В. Підвищення метрологічних характеристик швидкісних перетворювачів витрати рідин аксіального типу // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – Вип. 44. – 2012. – С. 98 – 105.
24. Коробко И.В. Исследование погрешности турбинных преобразователей рас хода /И.В. Коробко, А.В. Писарец / FIZICĂ ŞI TEHNICĂ:procese, modele, experimente Revistă ştiinţifică a profilului de cercetare. Universitatea de Stat „Alecú Russo” din Bălţi. – 2013.- №1. - С.41-48.
25. Писарець А. В. Система проектування турбінних перетворювачів витрати // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 126 – 133.
26. Pisarets A. Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element / A. Pisarets, I. Korobko // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С. 65 – 71.
27. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: [Справочник] / Идельчик И. Е. – М.: Машиностроение, 1975. – 543 с.
28. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: Физматгиз, 1961. – 408 с.
29. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. –К.: Вища шк., 1986. – 775 с.
30. Тахометрические расходомеры / Л. Л. Бошняк, Л. Н. Бызов. – Л.: Машиностроение, 1968. – 212 с.
31. Коробко І. В. Визначення критеріїв оптимізації та проектних параметрів турбінних перетворювачів витрат / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2006. – №2 (37). – С. 99 – 104.

32. Румшинський Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента.
– М.: Наука, 1971. -192с.
33. Реклейтис Г, Рейвиндран А, Регсдел К. Оптимизация в технике: В2Т./
Пер. с англ. В.Я.Алтаева – М.: Мир, 1986 – Т.1. -350с.
34. Реклейтис Г, Рейвиндран А, Регсдел К. Оптимизация в технике: В2Т./
Пер. с англ. В.Я.Алтаева – М.: Мир, 1986 – Т.1. -350с

Додаток А

Таблиця 1. Значення густини залежно від температури

Густина нафти від температури							
t, °C	ρ, кг/м3	t, °C	ρ, кг/м3	t, °C	ρ, кг/м3	t, °C	ρ, кг/м3
-30	898,1	-15	887,6	0	877,1	15	866,5
-29	897,4	-14	886,9	1	876,4	16	865,8
-28	896,7	-13	886,2	2	875,7	17	865,1
-27	896,0	-12	885,5	3	875	18	864,4
-26	895,3	-11	884,8	4	874,3	19	863,7
-25	894,6	-10	884,1	5	873,6	20	863
-24	893,9	-9	883,4	6	872,9	21	862,3
-23	893,2	-8	882,7	7	872,2	22	861,6
-22	892,5	-7	882,0	8	871,5	23	860,9
-21	891,8	-6	881,3	9	870,8	24	860,2
-20	891,1	-5	880,6	10	870,1	25	859,4
-19	890,4	-4	879,9	11	869,4	26	858,7
-18	889,7	-3	879,2	12	868,7	27	858
-17	889,0	-2	878,5	13	868	28	857,3
-16	888,3	-1	877,8	14	867,3	29	856,6
						30	855,9

Код програми для математичного моделювання:

```

unit Unit2;
interface
uses Windows, SysUtils, Classes, Graphics, Forms, Controls, StdCtrls,
  Buttons, ComCtrls, ExtCtrls, Math, TeeProcs, TeEngine, Chart, Series;
type
MAS = array[0..10000, 1..3] of real;
type
TPagesDlg = class(TForm)
  Panel1: TPanel;
  Panel2: TPanel;
  TabSheet1: TTabSheet;
  TabSheet2: TTabSheet;
  TabSheet3: TTabSheet;
  OKBtn: TButton;
  CancelBtn: TButton;
  HelpBtn: TButton;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  Label8: TLabel;
  Label9: TLabel;
  Label10: TLabel;

```

Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Label24: TLabel;
Label28: TLabel;
Button1: TButton;
Edit14: TEdit;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
Label38: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Edit22: TEdit;
Label52: TLabel;
Label32: TLabel;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Label37: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Edit23: TEdit;
Label44: TLabel;

Edit24: TEdit;
Label45: TLabel;
Label46: TLabel;
Label53: TLabel;
Edit25: TEdit;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
TabSheet4: TTabSheet;
TabSheet5: TTabSheet;
Button2: TButton;
Chart1: TChart;
Series1: TLineSeries;
PageControl1: TPageControl;
Label54: TLabel;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Edit30: TEdit;
Edit31: TEdit;
Edit32: TEdit;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;
Label58: TLabel;
Memo1: TMemo;
Button3: TButton;
Chart2: TChart;
Series2: TLineSeries;
Chart3: TChart;
Series3: TLineSeries;
Series4: TLineSeries;
Series5: TLineSeries;
Series6: TLineSeries;
Series7: TLineSeries;
Button4: TButton;
Series8: TLineSeries;
Series9: TLineSeries;
Series10: TLineSeries;
Series11: TLineSeries;
Series12: TLineSeries;
Series13: TLineSeries;
Button5: TButton;
Button9: TButton;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);

```

procedure Button11Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  PagesDlg: TPagesDlg;
  Q,JJ:real;
  n: array[0..100] of real;
  ni: array[0..100] of real;
  nd: array[0..100] of real;
  k: integer;
  z1,z2,z3,z4:real;
  A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,pp,pj: real;
  pche,rvt,s,z,v,ll,h,rn,B,pt,Du,rk,muz1,muz2,muz,rm,m,rsr,sgt,tp,tt,sg:real;
  sinb,cosb,kk,V0 : real;
  x0, xn, y0, hh: real;
implementation
  {$R *.dfm}
  function f(t, n: real): real;
  begin
    f :=z1*sqr(n)+(z2*exp(1.5*ln(n)))+z3*n+z4;
  end;
  function method_ejlera(a, b, y0, h: real): MAS;
  var
    j: real;
    results : MAS;
    i: integer;
  begin
    i := 1;
    results[1, 1] := a;
    results[1, 2] := y0;
    results[1, 3] := f(results[1, 1], results[1, 2]);
    j := a + h;
    while (j <= b) do
      begin
        i := i + 1;
        results[i, 1] := results[i-1, 1] + h;
        results[i, 2] := results[i-1, 2] + h *results[i-1, 3] ;
        results[i, 3] := f(results[i, 1], results[i, 2]);
        j := j + h;
      end;
    results[0, 1] := i;
    n[k]:=results[i, 2];
    method_ejlera := results;
  end;
  // процедура на інерції
  procedure inertion();
  var

```

```

Jc,Jl,Jprl :real;
begin
  Jc:=0.5*pi*pche*sqr(rvt)*sqr(rvt)*s;
  Jl:=1/12*(sqr(rn-rvt)+sqr(ll))*((1-cos(2*B))/2)+(sqr(h)+sqr(rn-rvt))*((1+cos(2*B))/2)*pt*(rn-
rvt)*h*ll+pt*(rn-rvt)*h*ll*sqr((rn+rvt)/2);
  Jprl:=muz*pp*(ll*h*h*h*h)/48+sqr((rn+rvt)/2)*pp*(rn-rvt)*h*ll;
  JJ:=Jc+(z*Jl)+(z*Jprl);
  pj:=2*pi*JJ;
end;
// процедура на коефіцієнти
procedure kof ();
var
x1,x2,x3,x4:real;
begin
  x1:=0.014*sqr(1/sg);
  x2:=(rn-rvt)-2*((rn-rvt)/(m+1))+((rn-rvt)/(2*m+1))-2*((rk-rm)/(m+1));
  x3:=exp((m+1)*ln((rn-rm)/(rk-rm)));
  x4:=((rk-rm)/(2*m+1))*exp((2*m+1)*ln((rn-rm)/(rk-rm)));
  A1:=x1*(x2+x3+x4);
  x1:=4*pi*(1/sg);
  x2:=(sqr(rn)-sqr(rvt))/2;
  x3:=((sqr(rn)+rm*m*rvt)/(sqr(m)+3*m+2))-(sqr(rvt)/(2+m));
  x4:=exp(m*ln((rn-rm)/(rm-rk)))*(sqr(rn)/(m+2)-((rm*m*rn+sqr(rm))/(sqr(m)+3*m+2)));
  A2:=x1*(x2+x3+x4);
  A3:=(4/3)*pi*pi*((rn*rn*rn)-(rvt*rvt*rvt));
  A4:=15.2394*sqr(rvt)*sqr(rvt)*exp(0.5*ln(Q/sg));
  A5:=(4*pi*muz*s*h*z*rn*sqr(rk))/(sinb*V0*(sqr(rk)-sqr(rn)));
  A6:=(pi*sqr(rn)*s)/(4*sqr(sgt)*sqr(sinb))*0.029*sqr(1-sqr(sinb)*sgt) ;
  A7:=(0.0279/tp)*(z*ll*rsr*(rn-rvt)*cosb)/(sqr(sinb)*sqr(sgt))*sqr(1-sqr(sinb)*sgt);
end;
procedure koff ();
begin
  A5:=(4*pi*muz*s*h*z*rn*sqr(rk))/(sinb*V0*(sqr(rk)-sqr(rn)));
  A6:=(pi*sqr(rn)*s)/(4*sqr(sgt)*sqr(sinb))*0.029*sqr(1-sqr(sinb)*sgt) ;
  A7:=(0.0279/tp)*(z*ll*rsr*(rn-rvt)*cosb)/(sqr(sinb)*sqr(sgt))*sqr(1-sqr(sinb)*sgt);
end;
procedure TPagesDlg.Button1Click(Sender: TObject);
begin

  pche:=strtofloat(edit1.text);
  rvt:=strtofloat(edit2.text)*0.001;
  s:=strtofloat(edit3.text)*0.001;
  z:=strtofloat(edit4.text);
  pp:=strtofloat(edit5.text);
  ll:=strtofloat(edit6.text)*0.001;
  h:=strtofloat(edit7.text)*0.001;
  rn:=strtofloat(edit8.text)*0.001;
  B:=strtofloat(edit9.text);
  sinb:=sin(B*0.01745);
  cosb:=cos(B*0.01745);
  pt:=strtofloat(edit10.text);

```

```

Du:=strtofloat(edit22.text)*0.001;
rk:=Du/2;
sgt:=pi*sinb*(sqr(rn)-sqr(rvt))-h*z*(rn-rvt);
sg:=pi*sqr(rk);
Q:=Strtofloat(edit28.text)/3600;
rm:=sqrt((sqr(rvt)-sqr(rk))/(2*ln(rvt/rk)));
m:=pp*(rn-rvt)*h*ll;
rsr:=(rvt+rn)/2;
tt:=(2*pi*rsr)/z;
tp:=tt/ll;
v0:=Sg*tt;
kk:=((2*m+1)*(m+1))/(2*sqr(m));
muz1:=0.99659519+2.0113477*h/(rn-rvt);
muz2:=1+0.99142209*h/(rn-rvt)-0.014176371*(h*(rn-rvt)*(h/(rn-rvt)));
muz:= muz1/muz2;
// моменти інерції
inertion();
edit14.Text:=floattostr(JJ);
// коефіцієнти
kof();
edit15.Text:=floattostr(A1);
edit16.Text:=floattostr(A2);
edit17.Text:=floattostr(A3);
edit18.Text:=floattostr(A4);
edit19.Text:=floattostr(A5);
edit20.Text:=floattostr(A6);
edit23.Text:=floattostr(A7);
x0 := StrToFloat(Edit29.Text);
xn := StrToFloat(Edit30.Text);
y0 := StrToFloat(Edit31.Text);
hh := StrToFloat(Edit32.Text);
//вивід рівняння
z1:=roundto((A3/pj),-2);
z2:=roundto((-A4*pp)/pj, -2);
z3:=roundto((-A2*Q)/pj, -2);
z4:=roundto(((A5*Q)-((A6+A7)*pp*sqr(Q))+(A1*sqr(Q)))/pj, -2);
edit24.Text:=floattostr(z1);
edit25.Text:=floattostr(z2);
edit26.Text:=floattostr(z3);
edit27.Text:=floattostr(z4);
end;
//динаміка
procedure TPagesDlg.Button2Click(Sender: TObject);
var
results: MAS;
i: integer;
begin
results := method_ejlara(x0, xn, y0, hh);
Chart1.SeriesList[0].Clear;
for i := 1 to round(results[0, 1]) do
begin

```



```

Memo1.Lines.Add('t[' + IntToStr(i) + ']=' + FloatToStr(results[i, 1]) + '; n[' + IntToStr(i) +
']=' + FloatToStr(results[i, 2]) + '; F[' + IntToStr(i) + ']=' + FloatToStr(results[i, 3]));
Chart1.Series[0].AddXY(results[i, 1], results[i, 2]);
end;
end;
//розрахунок стат
procedure stat();
var
results: MAS;
a: integer;
begin
k:=1;
for a:=1 to 90 do
begin
Q:=a/3600;
z1:=roundto((A3/pj),-2);
z2:=roundto((-A4*pp)/pj, -2);
z3:=roundto((-A2*Q)/pj, -2);
z4:=roundto(((A5*Q)-((A6+A7)*pp*sqr(Q))+(A1*sqr(Q)))/pj, -2);
results := method_ejlera(x0, xn, y0, h);
nd[a]:=n[k];
k:=k+1;
end;
end;
//розрахунок стат для ідеальної речовини
procedure statid();
var
results: MAS;
a: integer;
begin
k:=1;
for a:=1 to 90 do
begin
Q:=a/3600;
z1:=roundto((A3/pj),-2);
z2:=0;
z3:=roundto((-A2*Q)/pj, -2);
z4:=roundto(((A1*sqr(Q)))/pj, -2);
results := method_ejlera(x0, xn, y0, h);
nd[a]:=n[k];
k:=k+1;
end;
end;
//статика при стандарті
procedure TPagesDlg.Button3Click(Sender: TObject);
var
i,i1:integer;
pohubka: real;
begin
stat();
for i:=1 to 90 do begin

```

```

    Chart2.Series[0].AddXY(i, nd[i]);
    ni[i]:=nd[i];
    pohubka:=(ni[i]-nd[i])/ni[i]*100;
    Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
    end;
end;
    // статика при зміні густини
procedure TPagesDlg.Button4Click(Sender: TObject);
var
i,i1:integer;
pohubka:real;
begin
Chart2.SeriesList[0].Clear;
for i:=1 to 3 do begin
Chart3.Series[5].AddXY(i, 5);
Chart3.Series[6].AddXY(i, -5);
end;
for i:=3 to 90 do begin
Chart3.Series[5].AddXY(i, 2);
Chart3.Series[6].AddXY(i, -2);
end;
i1:=0;
    pp:=700;
    while pp<=1000 do
    begin
        inertion();
        stat();
        for i:=1 to 90 do
        begin
            Chart2.Series[i1].AddXY(i, nd[i]);
            pohubka:=(ni[i]-nd[i])/ni[i]*100;
            Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
            end;
            pp:=pp+30;
            i1:=i1+1;
            end;
end;
procedure TPagesDlg.Button5Click(Sender: TObject);
var i,i1:integer;
pohubka,y,g,g1:real;
begin
    for i:=1 to 3 do begin
Chart3.Series[5].AddXY(i, 5);
Chart3.Series[6].AddXY(i, -5);
end;
for i:=3 to 90 do begin
Chart3.Series[5].AddXY(i, 2);
Chart3.Series[6].AddXY(i, -2);
end;
i1:=0;
for i:=1 to 90 do

```

```

begin
Chart2.Series[2].AddXY(i, y);
pohubka:=(ni[i]-y)/ni[i]*100;
Chart3.Series[2].AddXY(i, pohubka);
end;
while z<=14 do
begin
inertion();
kof();
stat();
for i:=1 to 90 do
begin
Chart2.Series[i1].AddXY(i, nd[i]);
pohubka:=(ni[i]-nd[i])/ni[i]*100;
Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
end;
z:=z+1;
i1:=i1+1;
end;
end;
procedure TPagesDlg.Button6Click(Sender: TObject);
var i,i1:integer;
pohubka:real;
begin
for i:=0 to 4 do
begin
Chart2.SeriesList[i].Clear;
Chart3.SeriesList[i].Clear;
end;
i1:=0;
h:=0.0010;
while h<=0.0027 do
begin
inertion();
kof();
stat();
for i:=1 to 90 do
begin
Chart2.Series[i1].AddXY(i, nd[i]);
pohubka:=(ni[i]-nd[i])/ni[i]*100;
Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
end;
h:=h+0.0004;
i1:=i1+1;
end;
end;
procedure TPagesDlg.Button7Click(Sender: TObject);
var i,i1:integer;
pohubka:real;
begin
for i:=0 to 4 do

```

```

begin
Chart2.SeriesList[i].Clear;
Chart3.SeriesList[i].Clear;
end;
i1:=0;
B:=58;
while B<=70 do
begin
sinb:=sin(B*0.01745);
cosb:=cos(B*0.01745);
inertion();
koff();
stat();
for i:=1 to 90 do
begin
Chart2.Series[i1].AddXY(i, nd[i]);
pohubka:=(nd[i]-ni[i])/ni[i]*100;
Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
end;
B:=B+3;
i1:=i1+1;
end;
end;
procedure TPagesDlg.Button8Click(Sender: TObject);
var i,i1:integer;
pohubka:real;
begin
for i:=0 to 4 do
begin
Chart2.SeriesList[i].Clear;
Chart3.SeriesList[i].Clear;
end;
i1:=0;
s:=0.0116;
while s<=0.0196 do
begin
inertion();
kof();
stat();
for i:=1 to 90 do
begin
Chart2.Series[i1].AddXY(i, nd[i]);
pohubka:=(ni[i]-nd[i])/ni[i]*100;
Chart3.Series[i1].AddXY(i, pohubka);
end;
s:=s+0.002;
i1:=i1+1;
end;
end;
procedure TPagesDlg.Button9Click(Sender: TObject);
var

```

```

    i:integer;
begin
statid();
for i:=1 to 90 do begin
    Chart2.Series[1].AddXY(i, nd[i]);
    ni[i]:=nd[i];
end;
end;
//розрахунок тисків
procedure TForm1.Button12Click(Sender: TObject);
var P1,P2,P3,P4,po,v,sg1,sg2,k,Cx,tau,Sm,e12,e34,lambda,n: real;
    x: array[0..90] of integer;
    y: array[0..90] of real;
    y1: array[0..90] of real;
    i,Q:integer;
begin
po:=863;
Sg1:=0.00196;
Sg2:=0.0038;
Cx:=0.36;
tau:=0.5;
k:=1.55;
Sm:=0.001099;
P1:=150000;
Q:=0;
v:=(Q/3600)/sg1;
n:=0;
x[0]:=Q;
y[0]:=0;
for i:=1 to 90 do begin
    Q:=Q+1;
    v:=(Q/3600)/sg1;
    n:=n+0.754;
e12:=(k*Cx*Sm/Sg1)/sqr(1-tau*Sm/Sg1)*(1-tau*Sm/Sg1);
P2:=P1+((po*sqr(v))/2*(1-(sqr(Sg1)/sqr(Sg2))-e12*sqr(sg1)/sqr(sg2)));
P3:=P1+((po*sqr(v))/2*(1-(sqr(Sg1)/sqr(Sg2))*(1-e12)));
lambda:=0.3164/exp(0.25*ln(4000));
e34:=(lambda/8*sin(0.5))*(1-1/sqr(n));
P4:=p1+((po*sqr(v))/2*(1-(sqr(Sg1)/sqr(Sg2))*(1+e34)));
x[i]:=Q;
y[i]:=abs(p1-p4)/1000;
y1[i]:=abs(p2-p3)/1000;
end;
for i:=0 to 90 do begin
Chart1.Series[0].AddXY(x[i],y[i]);
Chart1.Series[1].AddXY(x[i],y1[i]);
end;
end;
end.

```