

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -11.00.00.000 ПЗ

група АКП -21-1

**Віктор Любевич**

2025 рік

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Любевич Віктор Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.518

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка автоматизованої системи визначення приведених

(назва роботи)

характеристик відцентрових нагнітачів

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

### Нормоконтроль

доцент

(посада)

(дата)

О. В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В. В. Любевич

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О. В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

асистент

(посада)

(підпис)

(дата)

Г. Г. Зварич

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідуючий кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А. І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

А.І. Лагойда.

«   »                      20   року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Любевичу Віктору Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розробка автоматизованої системи визначення приведених характеристик відцентрових нагнітачів**

керівник роботи Зварич Галина Григорівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломої практики, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Основні функції та склад обладнання компресорних станцій  
2. Дослідження нормованих характеристик компресора відцентрового типу.

3. Створення алгоритму побудови нормованих характеристик компресора відцентрового типу. 4. Розробка системи ідентифікації та методу визначення нормованих характеристик компресора. Висновки. Перелік використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. БР.АКП-11.00.00.001 – Криві реальної нормованих характеристик компресора відцентрового типу  $E=f(Q_{пр})$ . 2. БР.АКП-11.00.00.002 — Нормовані характеристики КВТ  
3. БР.АКП-11.00.00.003 — Конфігурація ОРС сервера при використанні МІК-51 та програма у MATLAB. 4. БР.АКП-11.00.00.004 — Система ідентифікації з паралельною (а) та послідовною (б) моделями. 5. БР.АКП- 11.00.00.005 — Система ідентифікації з паралельною моделлю. 6. БР.АКП- 11.00.00.006 — Нормовані характеристики у двох варіантах: розрахункова та реальна.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Основні функції та склад обладнання компресорних станцій	13.05.2025	
2	Дослідження нормованих характеристик компресора відцентрового типу	23.05.2025	
3	Створення алгоритму побудови нормованих характеристик компресора відцентрового типу.	30.05.2025	
4	Розробка системи ідентифікації та методу визначення реальних нормованих характеристик компресора відцентрового типу.	01.06.2025	
5	Оформленні БР	12.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

В. В. Любевич \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Г. Г. Зварич \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 62 сторінки, 31 рисуноків, 3 таблиця, 11 джерел.

Тема: «Розробка автоматизованої системи визначення приведених характеристик відцентрових нагнітачів».

*Об'єкт дослідження:* компресор відцентрового типу газоперекачувального агрегату.

*Предмет* дослідження: нормовані характеристики КВТ та методи їх ідентифікації.

*Мета роботи:* розробка методики ідентифікації та автоматизації визначення фактичних приведених характеристик нагнітачів, що слугуватиме основою для подальшого внесення змін до програмного забезпечення системи керування, що запобігає помпажу.

Результати роботи: у межах дослідження розроблено програмне забезпечення для отримання нормованих характеристик відцентрових нагнітачів у середовищі MATLAB, яке забезпечує можливість моніторингу змін нормованих характеристик газоперекачувального агрегату (ГПА) в режимі реального часу. На підставі аналізу отриманих характеристик здійснюється оцінка технічного стану двигуна та нагнітача, а також визначається доцільність коригування програмного забезпечення підсистеми керування, що запобігає помпажу.

**Ключові слова:** нормовані характеристики, ідентифікація, газоперекачувальний агрегат, компресор відцентрового типу.

## ANNOTATION

Bachelor's thesis contains: 62 pages, 31 figures, 3 tables, 11 sources.

Topic: "Development of an automated system for determining the reduced characteristics of centrifugal superchargers".

Object of research: centrifugal compressor of a gas pumping unit.

Subject of research: normalized characteristics of the KVT and methods for their identification.

Purpose of work: development of a method for identifying and automating the determination of the actual reduced characteristics of superchargers, which will serve as the basis for further changes to the software of the control system that prevents surge.

As part of the research, software was developed to obtain the reduced characteristics of centrifugal superchargers in the MATLAB environment, which provides the ability to monitor changes in the reduced characteristics of the gas pumping unit (GPU) in real time. Based on the analysis of the obtained characteristics, an assessment of the technical condition of the engine and supercharger is carried out, and the feasibility of adjusting the software of the control subsystem that prevents surge is also determined.

**Keywords:** normalized characteristics, identification, gas pumping unit, centrifugal compressor.

## ЗМІСТ

	ст.
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
 <b>1 ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК</b> .....	
1.1. Компресорна установка.....	9
1.2. Компресор нагнітального типу.....	11
1.3. Нормовані характеристики компресора нагнітального типу . ....	12
Висновок до розділу .....	17
 <b>2 ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПРЕСОРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ</b> .....	
2.1 Розрахунок продуктивності нагнітача типу 280, 370 и 520 по перепаду вхідного тиску перед компресором.....	18
2.2 Розрахунок нормованих характеристик: $Q_{пр}$ і $E_{пр}$ .....	22
2.3 Розрахунок і побудова графіку фактичної нормованої характеристики КВт в середовищі MathCad .....	23
Висновки до розділу.....	28
 <b>3 СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ НОРМОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА</b> .....	
3.1. Візуалізований алгоритм побудови графіків нормованих характеристик.....	29
3.2 Розроблення системи для знаходженню нормованих характеристик.....	33
Висновки до розділу.....	47

					<b>БР.АКП -11.00.00.000 ПЗ</b>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Любеич В. В.			Розробка автоматизованої системи визначення приведених характеристик відцентрових нагнітачів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Зварич Г. Г.					6	56
Реценз.		Кучмистенко О.В				<b>ІФНТУНГ АКП-21-1</b>		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В						
Затверд.		Лагойда А. І.						

<b>4 РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ</b>	
<b>ФАКТИЧНИХ НОРМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КВТ.....</b>	<b>48</b>
4.1. Підходи до розпізнавання об'єктів та порівняння їх характеристик.....	48
4.2. Розробка методу розпізнавання фактичних нормованих характеристик КВТ...	50
Висновок до розділу.....	59
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>60</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>61</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

					БР.АКП-11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГПА – газоперекачувальний агрегат;

ГТУ – газотурбінна установка;

КУ – компресорна установка;

КВТ – компресор відцентрового типу;

СМТГ – система магістрального транспортування газу;

ПСГ – підземне сховище газу;

ПВН – повно напірний;

ПВП – неповно напірний;

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Газотранспортна система України складається з густої мережі газових комунікацій, що служать для подачі газу як внутрішнім споживачам, так і для транзиту голубог палива в країни Західної Європи. Для транспортування природного газу по сталєних магістралях на численних компресорних станціях встановлено потужні газоперекачувальні агрегати [1÷10].

Режим роботи компресорних станцій і його зміни мають вирішальний вплив на функціонування всієї системи газопостачання. Оскільки компресорні станції на магістральних газопроводах є одними з найбільш енергоємних об'єктів, їхній режим експлуатації значною мірою визначає витрати енергії на транспортування газу. Для ефективного управління роботою цих станцій та оптимізації режимів важливо мати інформацію про допустимі діапазони режимів, межі енергоспоживання, а також поточний технічний стан обладнання та трубопроводів, який визначається за допомогою діагностичних засобів. Раптові зміни обсягів газу, що споживається, викликають нестабільність його руху в трубопроводах. Такі неусталені процеси, пов'язані зі змінами густини газу, можуть тривати тривалий час — від кількох годин до доби й більше. Під час перехідних режимів у газопроводі відбуваються значні коливання тиску, що можуть призводити до порушення нормальної експлуатації системи, а в окремих випадках — навіть до її аварійного пошкодження. [8-11].

При розрахунку режиму роботи компресорної установки (КУ) система магістрального транспортування газу (СМТГ) та завантаження газоперекачувального агрегата (ГПА) використовуються, як правило, нормовані характеристики компресорів відцентрового типу (КВТ). КВТ збудовані за результатами стендових випробувань при нормальних фізичних параметрах газу і частоті обертання ротора нагнітача [8,9,10].

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК

## 1.1 Компресорна установка

Компресорні установки призначені для підвищення енергетичного потенціалу газу та його подальшого транспортування через магістральні трубопроводи. Процес підвищення тиску здійснюється в компресорному цеху (КЦ), який є ключовим структурним елементом компресорної станції (КС) [8-11].

Компресорна станція включає в себе такі основні компоненти:

1) Технологічне обладнання, зокрема установки для стиснення, очищення та охолодження газу; системи охолодження масла та рідини (антифризу) для газоперекачувальних агрегатів (ГПА); пристрої для підготовки пускового, паливного, імпульсного газу та газу для власних потреб; установки повітропостачання;

2) Складські приміщення, які призначені для зберігання паливно-мастильних матеріалів (ПММ), метанолу, технічних засобів, реагентів, трубопровідної арматури та іншого обладнання;

3) Інженерні системи, включаючи електропостачання та захист від блискавок, тепlopостачання, системи утилізації тепла, опалення і вентиляції, системи водopостачання (виробничо-господарське, пожежне) і каналізації, системи автоматичного контролю та керування, а також засоби зв'язку, сигналізації, радіо-та годинникового оповіщення, системи пожежогасіння;

4) Адміністративно-побутові будівлі, що забезпечують організацію роботи персоналу;

5) Допоміжні виробничі споруди, які підтримують експлуатацію основного обладнання;

Компресорна установка виконує роль ключового регульовального елемента у процесі транспортування газу на великі відстані. Саме параметри її функціонування багато в чому визначають режим роботи всієї газотранспортної системи [8, 9].

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оснoву тeхнічного оcнащення КС cтанoвляють гaзoпeрeкaчувaльні aгpeгaти. Нa мaгіcтpaльнoх гaзoпpoвoдaх пeрeвaжнo зacтocoвyютьcя відцeнтpoві кoмпpecoри, які пpaцюють від eлeктpoпpивoдів aбo гaзoтyрбіннoх ycтaнoвoк (ГТУ), a тaкoж пopшнeві гaзoмoтoкoмпpecoри. Пpивoд нaгнітaчів нa КС вибpaють зaлeжнo від пoтyжнocтi, яку cпoживaє нaгнітaч з вpaхyвaнням швидкocтi oбepтaння poтopa ГПA.

Гaзoтyрбінний пpивoд мae ряд пeрeвaг пopівнянo з eлeктpoпpивoдoм, які пoлягaють в мoжливocтi рeгyлювaння рeжимy poбoти нaгнітaчa шляxoм змiни швидкocтi oбepтaння poтopa, нeзaлeжнo від джepeлa eнepгії. Тeхнічні хaрaктepиcтики КBT з пpивoдoм від ГТУ нaвeдeні в тaбл. 1.1 [10].

Тaблиця 1.1 – Тeхнoлoгічні хaрaктepиcтики відцeнтpoвoх нaгнітaчів

Тип КBT	Кoмepційнa пpoдyктивніcть, млн м <sup>3</sup> /дoбy	Нoмiнaльні oбepти poтopa, oб./xв	Пaрaмeтpи рeжимy пpи пpaцюючих КBT						Рoбoчий тиск, МПa	Cтyпiнь cтискy
			Об'єм-нa витpaтa гaзy нa вxoді, м <sup>3</sup>	Нoмiнaльний тиск нa вxoді, МПa	Об'ємний пoтiк пpи вxідних пaрaмeтpax,	Тиск y вxідних yмoвax, МПa	Об'ємний пoтiк пpи вxідних пaрaмeтpax, м <sup>3</sup>	Зaдaний тиск нa вxoді, МПa		
280-11-2	12	770	176	4,67	215	3,97	224	3,6		
260-13-2	16	557	203	4,58	242	3,78	285	3,26	5,2	1,24
370-15-2	14	555	303	3,08	364	2,56	425	2,28	3,5	1,24
370-17-1	17,8	530	284	4,57	345	3,74	392	3,64	5,7	1,22
370-14-1	18,6									
НГ-280-9	24,0	500	485	4,6	584	3,97	666	3,74	5,5	1,21
520-12-1	27,4	480	427	4,4	537	3,55	626	3,11	5,3	1,27
260-13-1	21,6	480	358	5,7	294	5,32			7,35	1,17
Н-16-56	51,3	460	808	4,5	957	3,61	-	-	5,32	1,26
650-21-1	51,1	370	646	5,2	-	-	-	-	7,7	1,48
CDP-224	16,3	620	213	4,9	-	-	-	-	7,77	1,52
PCL802/24	16,2	620	213	4,9	-	-	-	-	7,44	1,57
PCL1002/40	48,0	460	575	4,9					7,54	1,54
C3044-30	3,9	1570		2,5	-	-	-	-	5,8	2,25
RF288-30	22,7	500	243	5,1					7,2	1,51

Елeктpoдвигyни як пpивoд відцeнтpoвoгo нaгнітaчa (ВН) нa КС викopиcтoвyютьcя пopівнянo рiдкo (тaбл. 1.1) [10].

## 1.2 Компресор нагнітального типу (КНТ)

Компресор нагнітального типу є ключовим елементом системи транспортування природного газу, що забезпечує підвищення його тиску для подальшого переміщення магістральним трубопроводом. У газотранспортній галузі найбільш поширеними є відцентрові компресори, які відзначаються високою надійністю, стабільністю роботи та здатністю ефективно працювати в широкому діапазоні навантажень [9, 10].

КВТ, відомі також як газові компресори, є ключовими компонентами в системах транспортування та розподілу газу. КВТ – головна частина ГПА, яка стискає та транспортує природний газ у трубопроводі. Це типова конструкція газотурбінного нагнітача, який забезпечує підвищення тиску природного газу та його транспортування на великі відстані. Якщо потрібно, можна також підготувати опис у вигляді підписів до кожної частини або створити презентаційний варіант.

На рис. 1.1. наведено газотурбінний привод з компресорною установкою, який використовується, зокрема, у складі газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на компресорних станціях [8-11].

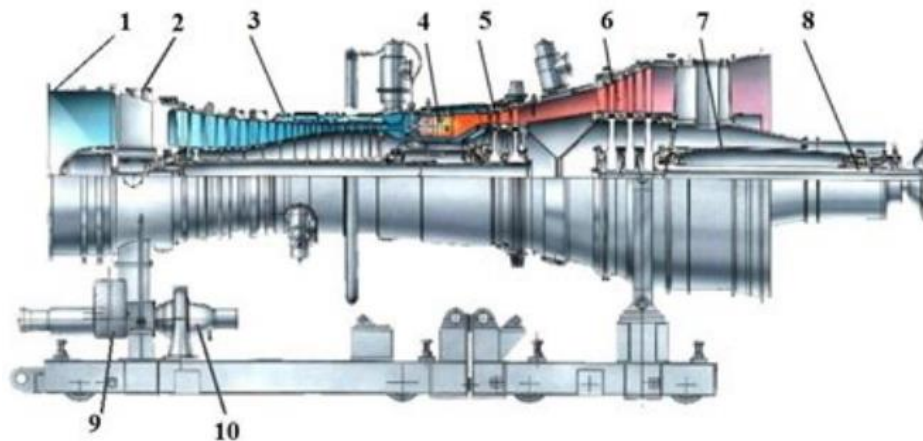


Рисунок 1.1 – Газотурбінний привод з компресорною установкою: 1 – вхід повітря; 2 – повітряний фільтр; 3 – компресор низького тиску; 4 – компресор високого тиску; 5 – камера згоряння; 6 – турбіна високого тиску; 7 – турбіна низького тиску; 8 – сопло або вихлопний тракт; 9 – редуктор (привод); 10 – нагнітач природного газу (компресор)

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії нагнітального компресора полягає у використанні механічної енергії, яка передається від приводу (газотурбінного або електричного), для стискування газу шляхом його багаторазового прискорення та дифузії в робочому колесі та дифузори. У результаті зростає тиск і температура газу, після чого він подається на наступний етап транспортування або обробки.

Основними технічними параметрами компресора є: об'ємна продуктивність, ступінь стискування; вхідний і вихідний тиск; температура газу; ККД агрегату.

Залежно від конструкції та умов експлуатації, компресори поділяють на одноступеневі та багатоступеневі, горизонтальні або вертикальні, з повітряним або водяним охолодженням. Правильний вибір типу компресора, а також його режиму роботи має вирішальне значення для ефективності всієї компресорної станції. [8].

### 1.3 Нормовані характеристики компресора нагнітального типу

Характеристикою КНТ називається залежність відношення тиску  $\varepsilon$ , політропного коефіцієнта потужності (ККД.)  $\eta_{\text{пол}}$  і внутрішній потужності  $N_i$  від подачі газу за різних режимів обертання ротора [9].

Ступінь стиску газу визначається як відношення тиску на виході газоперекачувального агрегату (ГПА) до тиску на його вході. Відповідно до цього показника, нагнітачі класифікуються на повнонапірні (ПВН) та неповнонапірні (НПВН). Для агрегатів неповнонапірного типу характерне значення ступеня стиску в межах 1,23–1,25, що зумовлює доцільність їх застосування на компресорних станціях (КС) у послідовно-паралельних схемах.

Кількість ступенів стиснення в окремій групі агрегатів визначається залежно від вхідного та вихідного тиску КС. Найбільш поширеними є конфігурації з дво- та триступеневим стисненням. Загальна кількість паралельно працюючих груп агрегатів обирається відповідно до необхідної продуктивності компресорної станції.

Повнонапірні нагнітачі конструктивно реалізуються у вигляді одного корпусу, всередині якого встановлено два послідовно з'єднані робочі колеса. Така

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конфігурація дозволяє досягти ступеня стиску в діапазоні 1,50–1,58. На практиці ПВН експлуатуються на компресорних станціях виключно в паралельному режимі. Кількість таких агрегатів на об'єкті визначається заданою продуктивністю станції та номінальною продуктивністю одного газоперекачувального агрегату обраного типу [9,10].

Відомо, що

$$\varepsilon, \eta_{\text{пол}}, N_i = f_{1,2,3}(Q_B, p_B, \rho_B, D_2, \omega) \quad (1.1)$$

де  $Q_B$  – витрата;  $p_B$  – тиск;  $\rho_B$  – густина газу за умови всмоктування, званих зазвичай початковими;  $D_2$  – діаметр робочого колеса;  $\omega$  – кутова швидкість.

На підставі теорії подібності залежність (1.1) представляють в критерійній формі [10]:

$$\varepsilon, \eta_{\text{пол}}, \frac{N_i}{\rho_B D_2^2 u_2^3} = f_{1,2,3}\left(\frac{Q_B}{D_2^2 u_2}, \frac{u_2}{\sqrt{z_B R T_B}}\right), \quad [10] \quad (1.2)$$

де  $u_2 = D_2 \omega$  – обертальна швидкість;  $\frac{Q_B}{D_2^2 u_2}$  – коефіцієнт витрати;  $\frac{u_2}{\sqrt{z_B R T_B}}$  – число

Маха.

Згідно (1.2) можна побудувати графіки залежності безрозмірної потужності  $\frac{N_i}{\rho_B D_2^2 u_2^3}$  від безрозмірної витрати  $\frac{Q_B}{D_2^2 u_2}$  при різних числах Маха. Але поступають інакше. Оскільки  $D_2$  – задана величина, замінюють окружну швидкість  $u_2$  частотою обертання ротора  $n$  і переходять до наступного виразу [10]:

$$\varepsilon, \eta_{\text{пол}}, \frac{N_i}{\rho_B n^3} = f_{1,2,3}\left(\frac{Q_B}{n}, \frac{n}{\sqrt{z_B R T_B}}\right), \quad (1.3)$$

де  $\frac{N_i}{\rho_B n^3}$  і  $\frac{n}{\sqrt{z_B R T_B}}$  – розмірні величини, пропорційні відповідним безрозмірним параметрам в (1.2).

Щоб характеристики були придатні для природних газів різного складу, їх приводять до фіксованих, доцільно вибраних умов. Параметри приведення:  $R_{\text{пр}} = 490 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $T_{\text{в.пр}} = 288 \text{ К}$ ;  $z_{\text{в.пр}} = 0,91$  і  $n_{\text{пр}} = n_{\text{н}}$  (номінальна).

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті отримуємо

$$\varepsilon, \eta_{\text{пол}}, \left[ \frac{N_i}{\rho_B} \right]_{np} = f_{1,2,3} \left( Q_{np}, \left( \frac{n}{n_H} \right)_{np} \right), \quad (1.4)$$

де  $\left( \frac{N_i}{\rho_B} \right)_{np} = \frac{N_i}{\rho_B} \left( \frac{n_H}{n} \right)^3$ ;  $Q_{np} = Q_B \frac{n_H}{n}$ ;  $\left( \frac{n}{n_H} \right)_{np} = \frac{n}{n_H} \sqrt{\frac{z_{B,np} R_{np} T_{B,np}}{z_B R T_B}}$ .

Нормовані характеристики для нагнітачів PCL802/24, PCL-1002, НГ-280-9, 520-12-1 зображені на рис. 1.2.

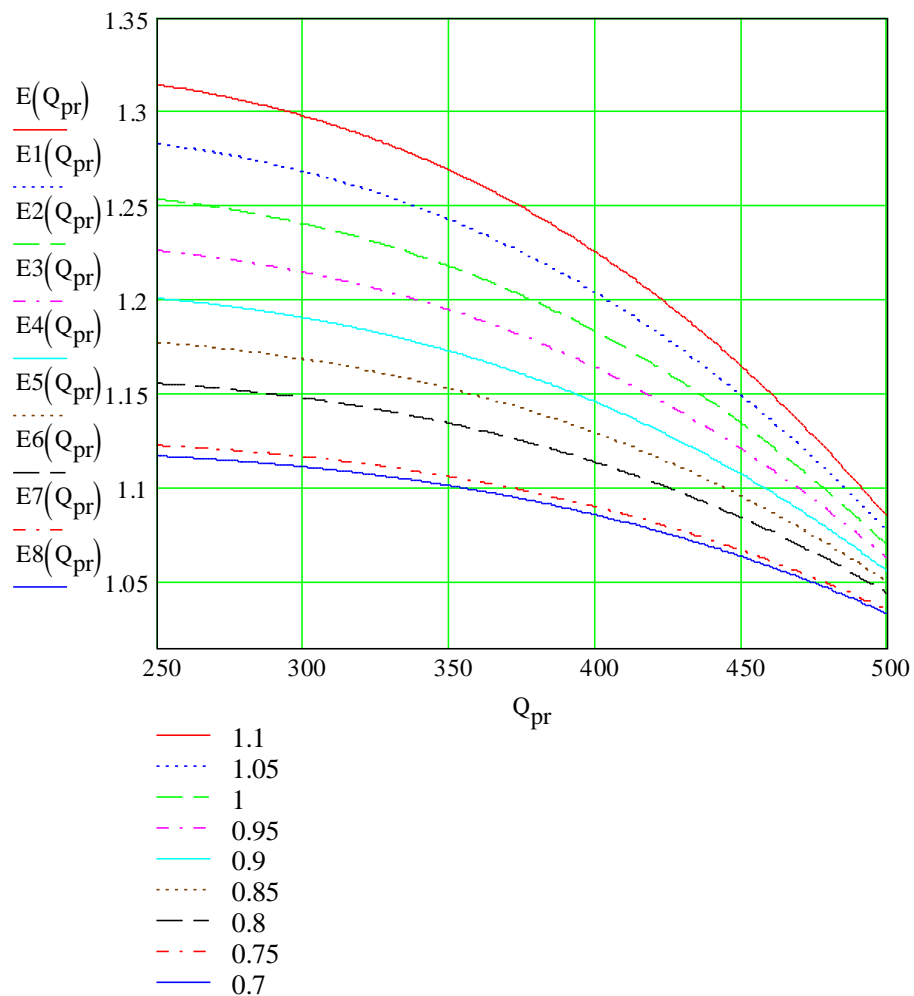


Рисунок 1.2 – Криві реальної нормовані характеристики нагнітача  $E=f(Q_{pr})$

[9,10]

Для наглядності актуальності теми визначення кривих реальних нормованих характеристик зобразим їх зміну при зносі деталей КВТ та газоперекачуючих

агрегатів. Візьмем  $\varepsilon=1,6$  при  $n_{пр}=1,1$  для трьох типів ГПА. В ГПА №2 (із малим зносом) приведена витрата  $Q_{пр}=370$ , ГПА №3 (із середнім зносом) -  $Q_{пр}=240$ , ГПА №1(із максимальним зносом) -  $Q_{пр}=270$ . При однаковій степені стиснення  $\varepsilon$  ГПА №1 та ГПА №3 вийшли в зону помпажу. Необхідно проводити корекцію протипомпажної системи.

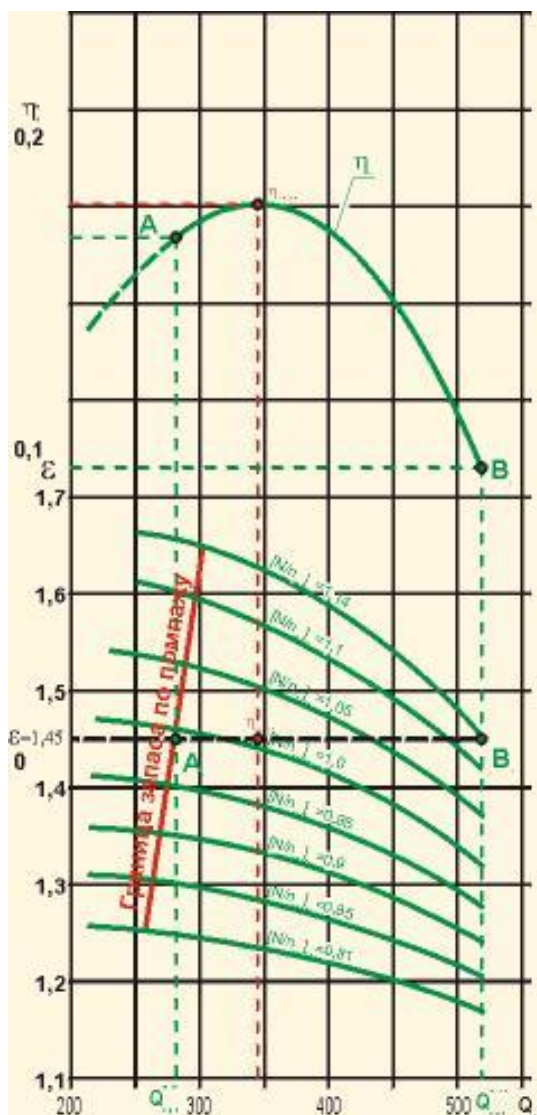


Рисунок 1.5 – Нормовані характеристики ГПА № 1 (з максимальним зносом)

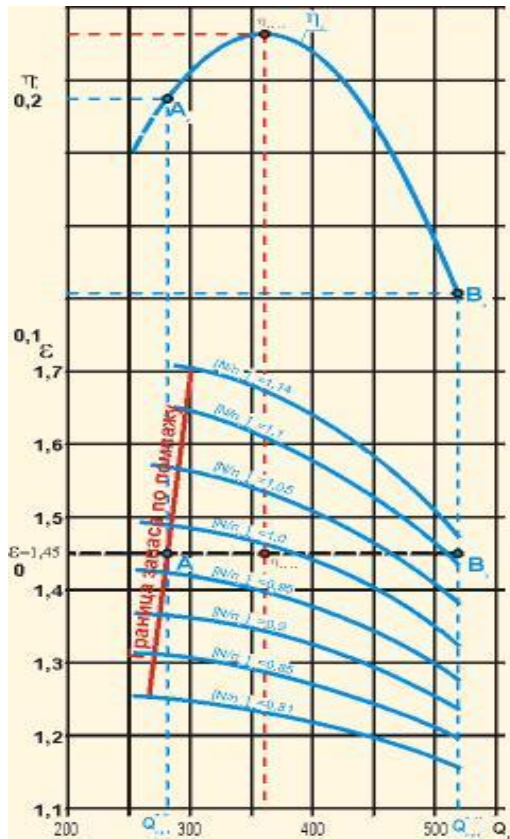


Рисунок 1.6 – Нормовані характеристики ГПА № 2 (з мінімальним зносом)

[11]

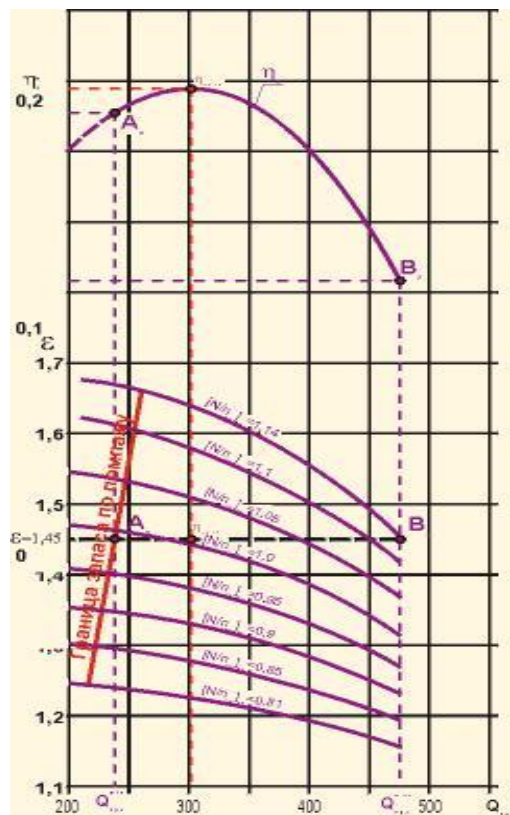


Рисунок 1.7 – Нормовані характеристики ГПА № 3 (з середнім зносом) [11]

## Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто основні функції газотранспортних установок, які забезпечують безперервне, надійне та ефективне транспортування природного газу магістральними трубопроводами. Установлено, що кожен елемент газотранспортної системи виконує специфічні функції, спрямовані на підтримання необхідних технологічних параметрів (тиску, температури, витрати), а також забезпечення безпеки та автоматизованого керування процесами.

Було досліджено нормовані характеристики компресора нагнітального типу є важливим інструментом для аналізу його роботи в різних режимах, незалежно від конкретних умов навколишнього середовища чи параметрів подачі газу.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПРЕСОРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ

### 2.1 Розрахунок продуктивності нагнітача типу 280, 370 и 520 по перепаду вхідного тиску перед компресором

Кількість газу, що компримується КЕ, не завжди можна визначити з достатньою точністю, тому для контролю режиму роботи КУ бажано використовувати метод розрахунку по перепаду вхідного тиску перед компресором [9, 10].

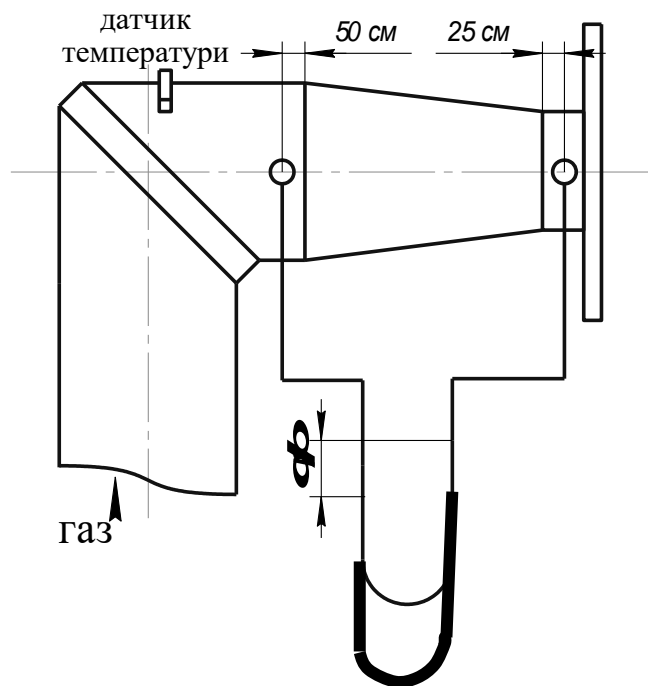


Рисунок 2.1 – Схема обліку об'ємної витрати газу нагнітача за різницею тисків перед компресором.

Об'ємну витрату (у м<sup>3</sup>/хв) нагнітача типу 280 по перепаду тиску на всмоктуючому конфузорі визначають по схемі вимірів (рис.2.1), визначасмо:

$$Q = k \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma_n}} \quad (2.1)$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

де  $\Delta p$  — перепад вхідного тиску перед компресором, мм рт. ст.;

$\gamma_n$  – щільність газу на вході в нагнітач, кг/м<sup>3</sup>; k – коефіцієнт пропорційності.

Для визначення продуктивності нагнітачів типу 370 і 520 вимірюють перепад тиску  $\Delta p$  на всмоктуючих камерах на ділянці між вхідним патрубком нагнітача і входом в робоче колесо. Для відбору тиску при вході в колесо використовують дренажі, призначені для подачі імпульсу до системи регулювання. Дренажні отвори розташовані при виході з конфузора всмоктуючої камери. На корпусі нагнітача є два фланці  $D_y=15$  мм, якими закінчуються дві дублюючі один одного дренажні трубки.

Витрату за об'ємом (у м<sup>3</sup>/хв) нагнітача за умовами всмоктування обчислюють за формулою:

$$Q = Al \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \quad (2.2)$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску у всмоктуючій камері, мм рт. ст.;  $\gamma$  – питома густина газу перед нагнітачем, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – коефіцієнт витрати, визначений за наслідками тарировки камери за допомогою витратомірної діафрагми на випробувальному стенді (однотипні нагнітачі мають однакові значення коефіцієнта  $A$ );  $l$  – поправка на стисливість газу в камері, визначувана за наслідками тарировки камери.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

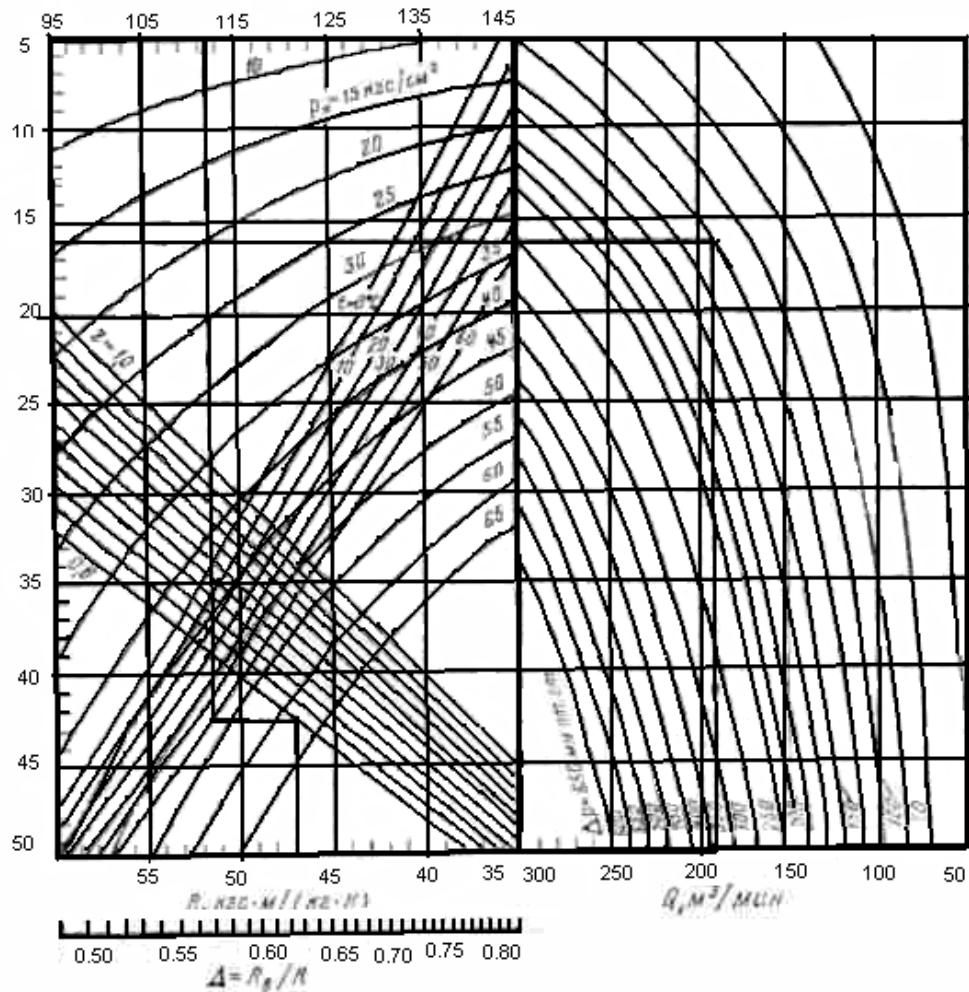


Рисунок 2.2 – Графік розрахунку щільності ваги газу, витрата за об’ємом по перепаду вхідного тиску перед компресором і величини  $\sqrt{zRT}$ . [ 10]

Витрата нагнітача (у млн. м<sup>3</sup>/добу) при 20°C і 760 мм рт. ст. визначається за формулою [10] :

$$Q = 1.44 \cdot 10^{-3} \frac{Al}{\gamma_n} \sqrt{\gamma \cdot \Delta p}, \quad (2.3)$$

де  $\gamma_n$  – питома густина газу при 20°C і 760 мм рт. ст., кг/м<sup>3</sup>;

$$\gamma_n = \frac{1033}{293 \cdot R} = \frac{35,2}{R} \quad (2.4)$$

Значення коефіцієнтів витрати камер  $A$  і формули для підрахунку поправок  $l$ , отримані за даними тарировки на випробувальному стенді, приведені в табл. 2.1.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.1 – Оцінка коефіцієнта витрати та визначення поправки на фізичні властивості газу [9, 10]

Тип нагнітача	A	Формула, за якою розраховується
370	91,0	$l = 1 - 1.102 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p}{p_n}$
520	128,8	$l = 1 - 1.385 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p}{p_n}$

Нормовані характеристики для нагнітача 370-14-1 зображена на рис. 2.3.

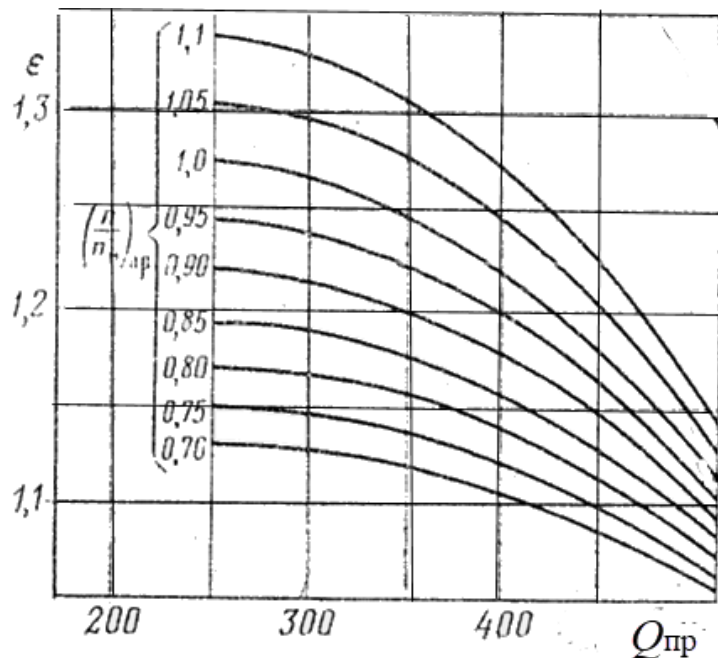


Рисунок 2.3 – Нормовані характеристики нагнітача 370-14-1 [9, 10]

Умови проведення:  $R_{пр} = 500$  Дж/(кг·К);  $T_{B.пр} = 288$  К;  $z_{B.пр} = 0,91$ ;  $n_n = 5300$  об/хв

## 2.2 Розрахунок нормованих характеристик: $Q_{пр}$ і $E_{пр}$

Нормована витрата за об'ємом нагнітача (у м<sup>3</sup>/хв) визначається за формулою [10]

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$Q_{np} = Q \frac{n_{ном}}{n} \quad (2.5)$$

де  $n_{ном}$  – номінальна частота обертання ротора нагнітача, об/хв;  $n$  – фактична частота обертання, об/хв.

При розрахунку нормованих характеристик необхідно визначити:

1. Газову сталу,  $R$ , Дж/кг·К

$$R = \frac{288}{\Delta} \quad (2.6)$$

де 288 – газова стала повітря, Дж/кг·К;  $\Delta$  – відносна густина газу по повітрю.

2. Щільність газу при  $T = 293$  °К і  $P = 0,1013$  Мпа, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_n = \Delta \cdot 1,206 \quad (2.7)$$

де 1,206 – щільність повітря при стандартних умовах, кг/м<sup>3</sup>.

3. Щільність газу при всмоктуванні, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho = \frac{P_{ex}}{Z \cdot R \cdot T} \quad (2.8)$$

де  $P_{ex}$  і  $T$  – абсолютні значення тиску (Па) і температури (°К) при всмоктуванні.

4. Нормовану частоту обертання [9, 10]:

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{np} = \frac{n}{n_n} \sqrt{\frac{Z_{np} R_{np} T_{np}}{Z \cdot R \cdot T}}, \quad (2.9)$$

де  $Z_{np}$ ,  $R_{np}$ ,  $T_{np}$  – параметри газу, які приймаються по характеристиці нагнітача.

5. Тиск на виході нагнітача, МПа[5]:

$$P_{вих} = P_{ex} \cdot \varepsilon \quad (2.10)$$

Після обчислення нормованої витрати за вимірними параметрами ГПА визначається приведена степінь стиснення нагнітача, яка відповідає приведеним параметрам газу, за формулою [10]:

$$E_{np} = E \left[ \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)_{np} \right]^{-2}, \quad (2.6)$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

де  $E$  – степінь стиснення нагнітача;  $E_{np}$  – приведена степінь стиснення нагнітача;  $(n/n_{ном})_{пр}$  – приведена відносна частота обертання нагнітача.

Далі складається система рівнянь, яка містить залежності приведеної степені стиснення і приведеної витрати для кожного із трьох режимів роботи ГПА у вигляді поліномів третього порядку із чотирма невідомими коефіцієнтами [10]:

$$E_{np1} = A + A_1 Q_{пр1} + A_2 Q_{пр1}^2 + A_3 Q_{пр1}^3, \quad (2.7)$$

$$E_{np2} = A + A_1 Q_{пр2} + A_2 Q_{пр2}^2 + A_3 Q_{пр2}^3, \quad (2.8)$$

$$E_{np3} = A + A_1 Q_{пр3} + A_2 Q_{пр3}^2 + A_3 Q_{пр3}^3. \quad (2.9)$$

За допомогою розв'язку цієї системи рівнянь визначаються коефіцієнти  $A, A_1, A_2, A_3$ . На базі рівняння (2.6) і рівняння [10]:

$$E_{np} = A + A_1 Q_{пр} + A_2 Q_{пр}^2 + A_3 Q_{пр}^3 \quad (2.10)$$

будується крива реальної приведеної характеристики нагнітача  $E=f(a)$ , а після підстановки значень  $(n/n_{ном})_{пр}=1,1; 1,05; 1; 0,95; 0,9; 0,85; 0,8; 0,75; 0,7$  будуються криві реальних приведених характеристик відцентрових нагнітачів газу.

### 2.3 Розрахунок і побудова графіків фактичних нормованої характеристик КВТ в середовищі MathCad [10]

Компресор нагнітального типу (КВТ): Н-370-14-1

Щільність:  $\rho_n := 0.672 \text{ кг/м}^3$  Коефіцієнт стисливості:  $z := 0.9$

Температура газу на вході:  $t := 15 \text{ }^\circ\text{C}$   $T := 273 + t$   $T = 288 \text{ }^\circ\text{K}$

Фактична частота обертання ротора нагнітача:  $n := \begin{pmatrix} 3800 \\ 4450 \\ 5500 \end{pmatrix} \text{ об/хв}$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Барометричний тиск:  $P_a := 0.1$  МПа

$$P_a := \frac{P_a}{735.5 \cdot 0.133322 \cdot 10^{-3}} \quad P_a = 1.02 \text{ кгс/см}^2$$

Тиск на вході нагнітача:

$$P_{vх} := P_a + P \quad P_{vх} = \begin{pmatrix} 51.009 \\ 50.029 \\ 48.98 \end{pmatrix} \text{ кгс/см}^2$$

Тиск на виході нагнітача (робочий тиск):  $P_{vух} := 5.6$  МПа

$$P_{vух} := \frac{P_{vух}}{0.0980665} \quad P_{vух} = 57.104 \text{ кгс/см}^2$$

Відносна щільність газу по повітрю:  $\Delta := \frac{\rho_n}{1.206} \quad \Delta = 0.557 \text{ кг/м}^3$

Газова стала:  $R := \frac{288}{\Delta} \quad R = 516.857 \text{ Дж/кг}^\circ\text{К}$

Щільність газу:

$$\rho := \frac{P_{vх} \cdot 10^5}{z \cdot R \cdot T} \quad \rho = \begin{pmatrix} 38.075 \\ 37.344 \\ 36.561 \end{pmatrix} \text{ кг/м}^3$$

Значення коефіцієнта витрати камер:  $A := 91$

Поправка для нагнітача типу 370

$$l_0 := 1 - 1.102 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{dP_0}{P_{vх_0}} \quad l_2 := 1 - 1.102 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{dP_2}{P_{vх_2}}$$

$$l_1 := 1 - 1.102 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{dP_1}{P_{vх_1}} \quad l = \begin{pmatrix} 0.997 \\ 0.991 \\ 0.98 \end{pmatrix}$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Витрата на вході нагнітача [10]:

$$Q_{V_0} := A \cdot l_0 \cdot \sqrt{\frac{dP_0}{\rho_0}} \quad Q_{V_1} := A \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{dP_1}{\rho_1}} \quad Q_{V_2} := A \cdot l_2 \cdot \sqrt{\frac{dP_2}{\rho_2}}$$

$$Q_V = \begin{pmatrix} 186.21 \\ 302.569 \\ 444.762 \end{pmatrix} \text{ м}^3/\text{хв}$$

Нормована частота обертання [10]:

$$n_{pr} := \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{z_{pr} \cdot R_{pr} \cdot T_{pr}}{z \cdot R \cdot T}} \quad n_{pr} = \begin{pmatrix} 0.709 \\ 0.83 \\ 1.026 \end{pmatrix}$$

Степінь стиску:

$$E_0 := \frac{P_{vux}}{P_{vx_0}} \quad E_1 := \frac{P_{vux}}{P_{vx_1}} \quad E_2 := \frac{P_{vux}}{P_{vx_2}} \quad E = \begin{pmatrix} 1.119 \\ 1.141 \\ 1.166 \end{pmatrix}$$

Відносні частоти обертання КВТ [10]:

$$n' := \frac{n_n}{n} \quad n' = \begin{pmatrix} 1.395 \\ 1.191 \\ 0.964 \end{pmatrix}$$

Параметри режимів КВТ [10]:

$$Q_{pr1} := Q_{V_0} \cdot n'_0 \quad Q_{pr1} = 259.713 \quad \text{м}^3/\text{хв} \quad E_{pr1} := (E_0)^{(n_{pr0})^{-2}} \quad E_{pr1} = 1.252$$

$$Q_{pr2} := Q_{V_1} \cdot n'_1 \quad Q_{pr2} = 360.363 \quad \text{м}^3/\text{хв} \quad E_{pr2} := (E_1)^{(n_{pr1})^{-2}} \quad E_{pr2} = 1.211$$

$$Q_{pr3} := Q_{V_2} \cdot n'_2 \quad Q_{pr3} = 428.589 \quad \text{м}^3/\text{хв} \quad E_{pr3} := (E_2)^{(n_{pr2})^{-2}} \quad E_{pr3} = 1.157$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Знаходження параметрів A, A1, A2, A3 [10]:

$$A := 0 \quad A_1 := 0 \quad A_2 := 0 \quad A_3 := 0$$

Given

$$E_{pr1} = A + A_1 \cdot Q_{pr1} + A_2 \cdot Q_{pr1}^2 + A_3 \cdot Q_{pr1}^3$$

$$E_{pr2} = A + A_1 \cdot Q_{pr2} + A_2 \cdot Q_{pr2}^2 + A_3 \cdot Q_{pr2}^3$$

$$E_{pr3} = A + A_1 \cdot Q_{pr3} + A_2 \cdot Q_{pr3}^2 + A_3 \cdot Q_{pr3}^3$$

$$\begin{pmatrix} A \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(A, A_1, A_2, A_3)$$

$$A = 1.253 \quad A_1 = 0 \quad A_2 = 7.557 \times 10^{-7} \quad A_3 = -2.984 \times 10^{-9}$$

$$Q_{pr} := 250 .. 500$$

$$E(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{1.21}$$

$$E1(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{1.1025}$$

$$E2(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)$$

$$E3(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{0.9025}$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$E5(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{0.7225}$$

$$E6(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{0.64}$$

$$E7(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{0.512}$$

$$E8(Q_{pr}) := \left( A + A_1 \cdot Q_{pr} + A_2 \cdot Q_{pr}^2 + A_3 \cdot Q_{pr}^3 \right)^{0.49} \quad [10]$$

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Будуємо графік з графіками фактичних нормованих характеристик КВТ:

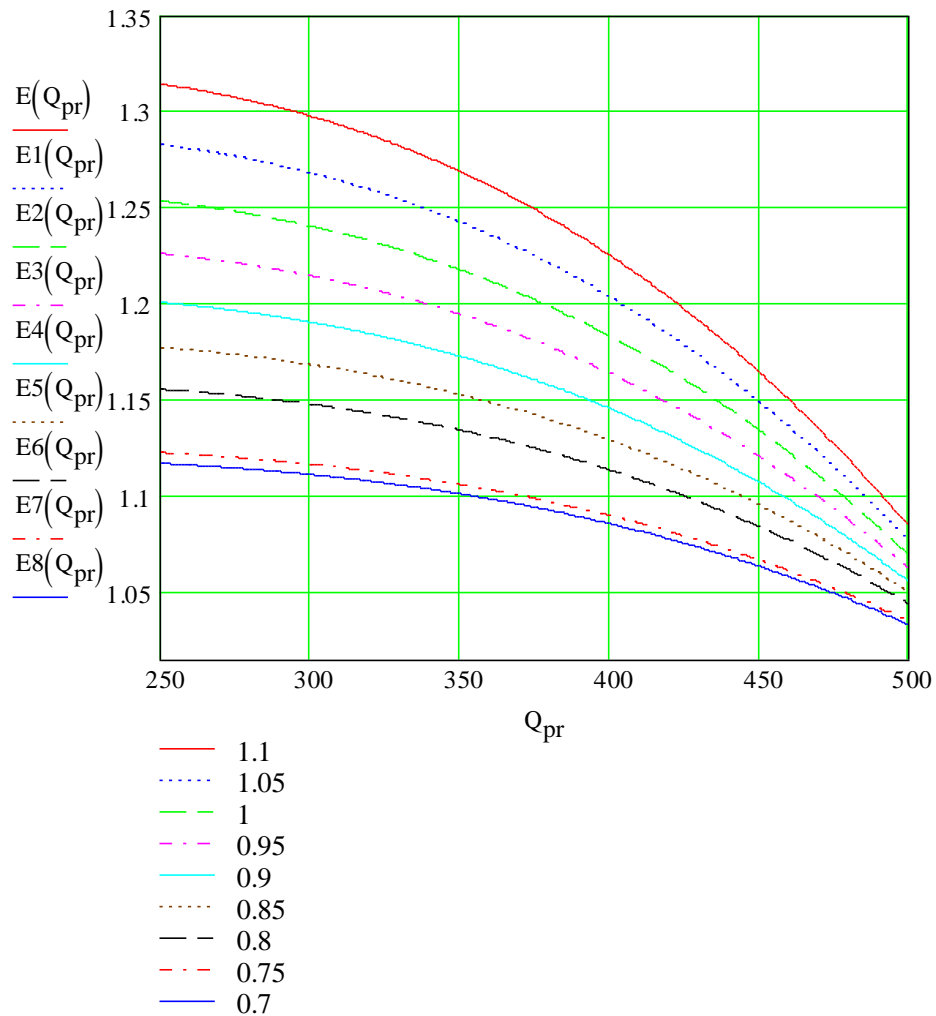


Рисунок 2.5 – Графік реальної нормованої характеристики нагнітача

$$E=f(Q_{пр}) [10]$$

### Висновки до розділу

Розглянуто метод розрахунку витрати КВТ по перепаду вхідного тиску перед компресором. Це дозволяє побудувати його нормовані характеристики в реальному часі.

Знайдено нормовані характеристики  $Q_{пр}$  і  $E_{пр}$  та побудовано графіки реальних нормованих характеристик компресорів відцентрового типу ГПА.

### 3 СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ НОРМОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА

#### 3.1 Візуалізований алгоритм побудови графіків нормованих характеристик

Виходячи із отриманих розрахунків можна скласти такий алгоритм програми (рис. 3.1) [8, 9].

Опис алгоритму [9]:

Блок 2. Проводиться ввід таких даних:

- тиск на вході в ГПА –  $P_{\text{вх}}$ ;
- тиск на виході з ГПА –  $P_{\text{вих}}$ ;
- перепад вхідного тиску перед компресором –  $dP_{\text{к}}$ ;
- температура газу на вході в нагнітач –  $T_{\text{вх}}$ ;
- фактична частота обертання ротора нагнітача –  $n$ .

Ці дані зчитуються з давачів встановлених на ГПА. Параметри  $P_{\text{вх}}$ ,  $n$ ,  $dP_{\text{к}}$  зчитуються для кожного з 3-х режимів роботи ГПА.

Блок 3. Ввід даних нагнітача [9]:

1. Параметри нагнітача:

- номінальні оберти нагнітача –  $n_{\text{ном}}$ ;
- коефіцієнт витрати -  $A$ ; обчислюється за результатами тарування камери з допомогою витратомірної діаграми на випробувальному стенді (однотипні нагнітачі мають однакові значення коефіцієнта  $A$ );
- $l$  - поправка на стиснення газу в камері, обчислюється за результатами тарування камери.

2. Нормовані характеристики [9]:

- нормований коефіцієнт стисливості –  $Z_{\text{пр}}$ ;
- нормована газова стала –  $R_{\text{пр}}$ ;

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

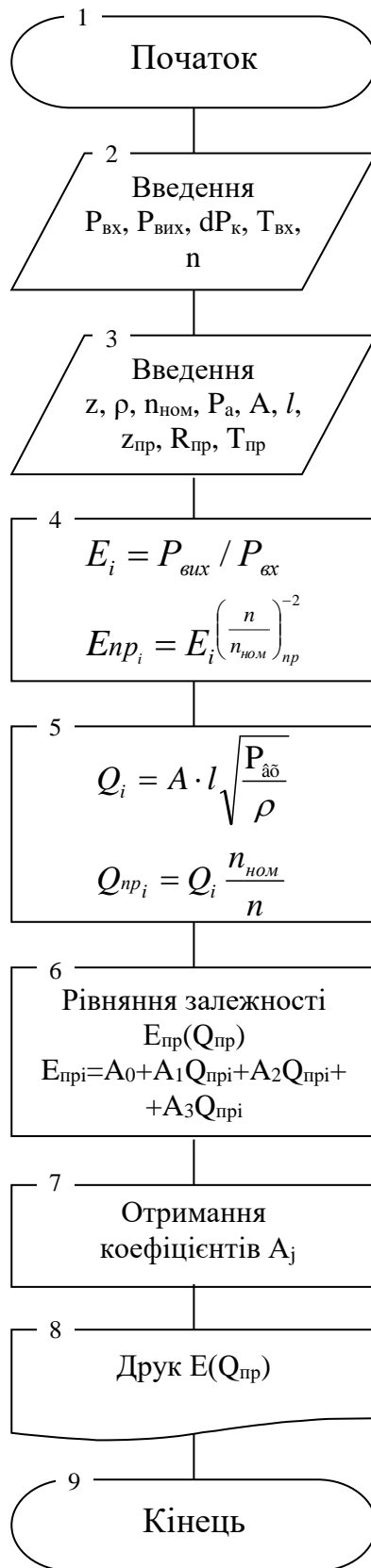


Рисунок 3.1 – Блок-схема побудови графіків нормованих характеристик [9]

3. Дані лабораторії: атмосферний тиск –  $P_a$ ; густина газу –  $\rho$ ; коефіцієнт стисливості –  $z$ .

Блок 4. Обчислення нормованої ступені стиснення відцентрового нагнітача  $E_{пр}$  для кожного із 3-х режимів роботи ГПА.

Блок 5. Визначення нормованої витрати  $Q_{пр}$  для кожного із 3-х режимів роботи ГПА.

Блок 6. Система рівнянь для залежності нормованої ступені стиснення і нормованої витрати для кожного із трьох режимів роботи ГПА.

Блок 7. Визначення коефіцієнтів  $A_0, A_1, A_2, A_3$  системи рівнянь [9].

Блок 8. Побудова графіків фактичних нормованих характеристик КВТ газу при значеннях  $(n/n_{ном})_{пр.} = 1,1; 1,05; 1; 0,95; 0,9; 0,85; 0,8; 0,75; 0,7$ .

### 3.2 Розроблення системи для визначення нормованих характеристик

При розробленні системи визначення нормованих характеристик необхідно знайти перепад тиску газу  $dP_k$ , тиск на вході  $P_{вх}$  та виході  $P_{вих}$  ГПА, температуру газу на вході  $T_{вх}$ , щільність газу  $\rho$ , фактичної частоти обертання  $n$ . [11]

Розроблена система складається із первинних вимірювальних перетворювачів, програмованого логічного контролера, блоку перетворення інтерфейсів та робочої станції з встановленою на ній програмним забезпеченням (рис. 3.2) [11].

У табл. 3.1 наведено технологічні параметри ГПА, необхідні для роботи системи, а також технічні характеристики каналів вимірювання та первинні перетворювачі.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

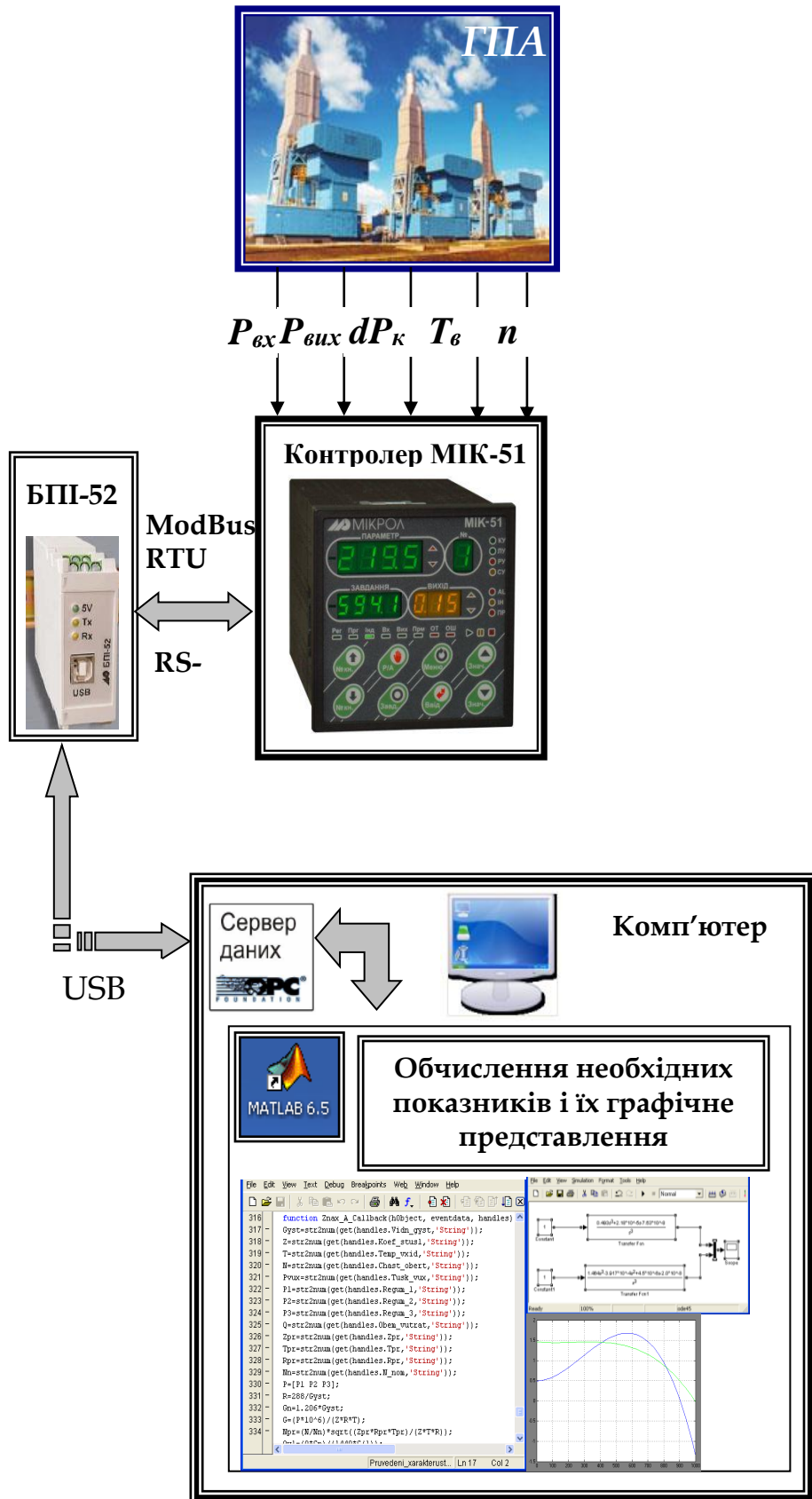


Рисунок 3.2 – Блочна схема системи визначення нормованих характеристик [11]

Таблиця 3.1 – Технологічні параметри ГПА і характеристики каналів вимірювань [11]

N	Назва параметра	Канал	Давач	Технічні	Сигнал
1	Перепад тиску газу на звужувальному.	$dP_k$	Honeywell 3000 series	0-0,15МПа	4-20мА
2	Тиск газу на	$P_{ex}$	TEX UAG97L	0-10 МПа	4-20мА
3	Тиск газу на виході нагнітача	$P_{вих}$	TEX UAG97L	0-10 МПа	4-20мА
4	Частота обертів ВН	$n$	ВЦТ-1/L	0-5000 об/хв	інтерфейс*
5	Температура газу на виході	$T_{ex}$	ТСП 23-є град.	-50÷60 °С	інтерфейс*

Всі вище приведені параметри, окрім  $dP_k$ , використовуються системою централізованого контролю та управління (СЦКУ) ГПА, тому немає потреби монтувати додаткові давачі.

Ці дані заведено в програмований мікропроцесорний контролер МІК-51. Коротко опишем його характеристики:

Функціональні можливості [11]:

- Контролер МІК-51 це – проектно-компанований виріб, що дозволяє користувачу вибрати потрібний комплект модулів і блоків відповідно до числа і виду вхідних-вихідних сигналів;
- Вбудовані засоби самодіагностики: сигналізація й ідентифікація несправностей, про вихід сигналів за припустимі границі, про збої в ОЗП, порушення обміну по мережі і т.п.;
- Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі чи по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора FBD-програм АЛЬФА. Редактор FBD має вбудований відладчик програм, систему логічного контролю стану програми, можливості документування програм, друку, представлення програми у виді таблиці та ін.

### Математична обробка інформації з різних алгоритмів:

- введення-виведення: аналоговий і дискретний ввід-вивід;
- регулювання: ПД-регулювання, ПД-регулювання каскадне, програмний задатчик, швидкість зміни параметра, алгоритм користувацької панелі - 3 індиковані параметри і задатчик сигналів;
- обслуговування передньої панелі контролера;
- динамічних перетворень: інтегрування, диференціювання, фільтрація, балансування, обмеження, затримка сигналу.
- статичних перетворень: сумування, множення, ділення, обрахунок квадратного кореня, абсолютне значення, середнє, визначення максимуму, визначення мінімуму, визначення екстремума, масштабування;
- аналого-дискретні перетворення: переключення аналогових сигналів (мультиплексор), переключення по номеру, компаратор, трьохпозиційний перемикач, імпульсатор;
- логічні операції: І, АБО, виключаюче АБО, тригер, регістр із записом за рівнем, регістр із записом по фронту, виділення фронту;
- дискретне керування: таймер, лічильник, мультівібратор, шифратор, дешифратор;

### Кількість входів-виходів контролера [11]

У базовій моделі:

- Аналогових входів - 4 (2 універсальних, 2 уніфікованих). Аналогових виходів - 1.
- Дискретних входів - 3. Дискретних виходів - 5.

Моделі модулів УСО:

- 1 дискретний вхід, 4 дискретних виходи,
- 4 дискретних входи, 1 дискретний вихід,
- 2 дискретних входи, 3 дискретних виходи

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Характеристики вхідних сигналів

- Сигнали від термопар ТХК(L), ТХА(К), ТПП(S), ТПР(В), ТВР (А), ТЖК(І), ТХКн(Е)
- Сигнали від термометрів опорів ТСМ 50М, ТСМ 100М, ТСП 50П, ТСП 100П, Pt50, Pt100
- Уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА; 0-10В
- Дискретні й імпульсні сигнали: 24В постійного струму, лог."1" напругою від 19 до 32 В; лог."0" напругою від 0 до 7 В. Групова розв'язка

### Характеристики вихідних сигналів [11]

- Уніфікований аналоговий сигнал постійного струму 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА; 0-10В
- Дискретні й імпульсні сигнали: транзисторний вихід ОК NPN-транзистора: 40В/0,1А; релейний вихід: 220 В/8А; Групова розв'язка

### Технічні характеристики

- Обсяг пам'яті: ПЗП - 128 кбайт, ОЗП - 4 кбайт
- Поточний час (таймери, програмні задатчики і т.д.), постійні часу, інтервали від 0 до 9999 с, від 0 до 9999 год, таймер реального часу з батареєю резервного живлення
  - Час циклу - від 0.1 до 2 с
  - Кількість алгоблоків - до 99
  - Похибка перетворення: АЦП:  $\pm 0.2\%$ ; ЦАП:  $\pm 0.25\%$
  - Трьохрівнева (по входу, виходу і живленню) гальванічна ізоляція
  - Збереження інформації при відключенні живлення
  - Час збереження інформації при відключенні живлення - 10 років
  - Канал інтерфейсного зв'язку RS-485 (2/4 wire), RS-232C, ІРПС, CAN 2.0В
  - Швидкість обміну - до 921 кбит/с

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Температура навколишнього середовища: від +0°C до +50°C
- Напруга живлення: від мережі змінного струму ~220(+22,-33)В, (50±1)Гц
- Споживана потужність: не більше 15 Вт
- Корпус (ВхШхГ): щитовий 96х96х185 мм DIN43700, IP30
- Монтажна глибина: 240 мм

Контролер МІК-51 містить засоби оперативного керування, розташовані на передній панелі контролера. Ці засоби дозволяють вручну змінювати режими роботи, встановлювати завдання, керувати ходом виконання програми, вручну керувати виконавчими пристроями, контролювати сигнали і відображати помилки. Контролери МІК можна об'єднувати в локальну керуючу мережу шинної конфігурації з інтерфейсом RS-485 та протоколом ModBus, максимум 32 контролера [11].

Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора FBD-програм АЛЬФА. Як мова програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Function Block Diagram. Бібліотека налічує більше 50 типів зашитих в ПЗП функціональних блоків неперервної і дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПД-регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень. Загальний час, що витрачається на обслуговування функціональних блоків і інтерфейсного каналу, є меншим часу циклу, рівного 0,1с. Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) IEC 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і управління технологічними процесами, виконуваними на програмованих контролерах [11].

МІК-51 проводить обробку даних та їх передачу протоколом MODBUS-RTU на блок перетворення інтерфейсу БПІ-52, далі по інтерфейсу USB 2.0 дані поступають на робочу станцію (ПК) з OPC сервером. Це в свою чергу дозволяє проводити аналіз даних різними методами та порівнювати отримані результати

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

без додаткових затрат часу на синхронізацію, обробку, та передачу даних. Використання технології OPC [англ. OLE for Process Control], яка дає можливість одночасного доступу до даних в реальному часі довільної кількості клієнтів. Логічно, що такий режим доступу до даних відкриває широкі можливості їх наукового аналізу різними програмними пакетами, спеціалістами з експлуатації та науковцями. Накопичення та аналіз даних з різних типів ГПА є необхідною умовою при створенні адаптивних та інтелектуальних систем протипомпажного захисту [11].

Коротко опишемо технічні характеристики БПІ-52:

- Кількість каналів перетворення: 1
- Гальванічна ізоляція: трьохрівнева (по входу, виходу, живленню)
- Напруга ізоляції: 1000В
- Світлодіодні індикатори: живлення, прийому і передачі даних (для полегшення пошуку несправностей)
- Температура навколишнього середовища: від +5°C до +50°C
- Живлення: від мережі постійного струму від 20 до 30В
- Споживана потужність: не більше 2 Вт (65 мА)
- Корпус (В×Ш×Г): 44×92×130 IP30, кріплення: рейка DIN35x7.5 EN50022,
- Маса: не більше 0,23 кг.

Програма ModBus OPC Server (далі – сервер), розроблена компанією «МІКРОЛ», призначена для автоматизованого обміну даними між приладами власного виробництва та клієнтськими додатками, що працюють на ЕОМ. Сервер забезпечує стандартний доступ до даних відповідно до специфікації OPC Data Access 2.0 (Custom Interface Specification) [11].

Налаштування OPC-сервера для взаємодії з приладом МІК-21 показано на рис. 3.3. [11]

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

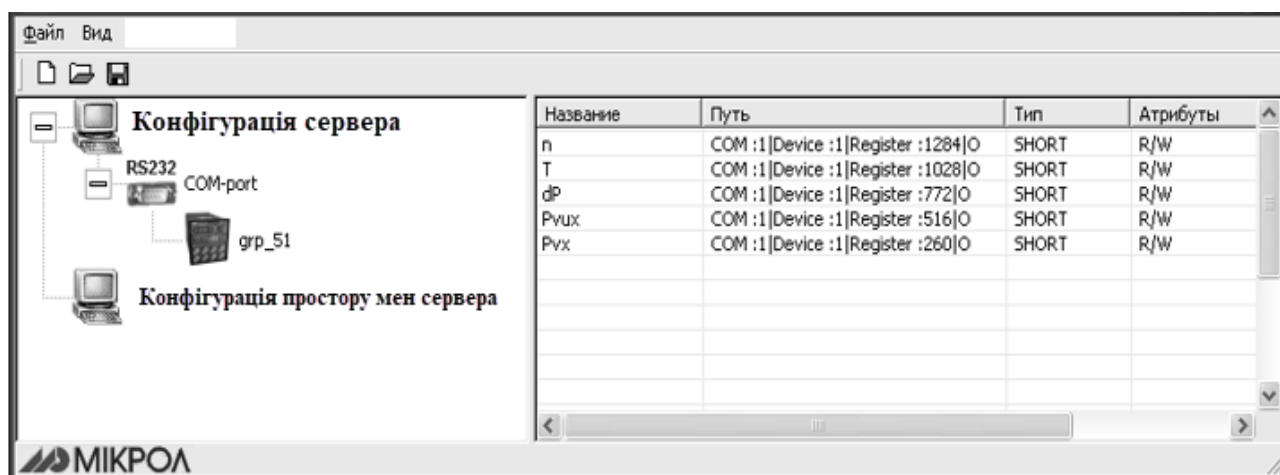


Рисунок 3.3 – Налаштування OPC-сервера для взаємодії з приладом МІК-21 [11]

Для забезпечення коректного обміну даними між приладом МІК-21 та клієнтськими додатками використовується OPC-сервер, який виступає посередником між апаратурою та програмним забезпеченням.

Налаштування OPC-сервера включає кілька ключових етапів [11] :

1) Підключення до приладу МІК-21. Сервер конфігурується для зв'язку з пристроєм через інтерфейс ModBus, що підтримується приладом. Вказуються параметри комунікації: адреса пристрою, швидкість передачі даних, протокол обміну.

3) Створення та налаштування тегів. Для обміну даними визначаються теги OPC — логічні адреси, які відповідають параметрам приладу МІК-21 (наприклад, тиск, температура, витрата). Кожен тег налаштовується з урахуванням типу даних, діапазону значень та режиму оновлення.

5) Конфігурування інтерфейсу OPC Data Access. OPC-сервер реалізує стандартний протокол OPC DA 2.0, що забезпечує уніфікований доступ клієнтів до даних. Налаштовуються параметри доступу, права користувачів та режими обробки запитів.

7) Тестування зв'язку та коректності даних. Після налаштувань проводиться тестування каналу зв'язку, перевірка коректності зчитування та запису параметрів приладу через OPC-сервер. Виявляються та усуваються

можливі помилки.

8) Оптимізація роботи сервера. В залежності від вимог системи, налаштовуються інтервали опитування, обробка подій та логування, що підвищує стабільність і швидкодію обміну інформацією.

Таким чином, правильно налаштований OPC-сервер забезпечує надійний і ефективний обмін даними між приладом МІК-21 та програмними клієнтами, що є необхідною умовою для автоматизації та моніторингу технологічного процесу.

За допомогою програми ModBus OPC Server можна організувати обмін інформацією між приладами, виробленими підприємством “МІКРОЛ” і пакетом MATLAB.

Система MATLAB складається з п'яти основних частин [7]:

Мова MATLAB. MATLAB є високорівневою мовою програмування, орієнтованою на роботу з матрицями та масивами. Вона підтримує керування потоками виконання, використання функцій, роботу зі структурами даних, операції введення-виведення, а також елементи об'єктно-орієнтованого програмування. Такий функціонал забезпечує ефективну розробку як невеликих експериментальних програм, так і масштабних програмних систем з високим рівнем складності.

Середовище MATLAB. MATLAB надає інтегроване середовище розробки, яке містить набір інструментів і засобів взаємодії з користувачем. Це середовище включає інтерфейси для керування змінними у робочому просторі, обробки вхідних і вихідних даних, а також створення, налагодження та супроводу М-файлів і користувацьких застосунків.

Керована графіка. Графічна підсистема MATLAB забезпечує підтримку високорівневих інструментів для візуалізації дво- та тривимірних даних, а також для виконання обробки зображень, створення анімацій та ілюстративної графіки. Крім того, вона включає низькорівневі команди, що дозволяють детально налаштовувати параметри графічних об'єктів.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програмний інтерфейс. Це набір бібліотек, який забезпечує можливість створення програм на мовах Сі та Фортран з інтеграцією у MATLAB. Інтерфейс дозволяє викликати зовнішні програми з середовища MATLAB через механізм динамічного зв'язку, використовувати MATLAB як обчислювальний модуль, а також здійснювати читання і запис даних у форматі MAT-файлів.

Про Simulink. Simulink — це інтерактивне доповнення до MATLAB, призначене для моделювання нелінійних динамічних систем. Середовище Simulink побудоване на основі графічного інтерфейсу з підтримкою керування за допомогою миші, що дозволяє моделювати системи шляхом розміщення і з'єднання блоків діаграм. Simulink підтримує роботу з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними та багатовимірними системами.

Blocksets. Це додаткові бібліотеки блоків для Simulink, які забезпечують спеціалізовані функції для різних галузей, зокрема зв'язку, обробки сигналів та енергетики.

Real-Time Workshop. Цей модуль призначений для автоматичної генерації коду на мові С з блок-схем Simulink, що дозволяє запускати отримані програми на апаратних платформах реального часу.

У програмному середовищі Simulink розроблено графічний інтерфейс програми (рис. 3.4) [11].

У вікні «Виміряні дані» розміщені три панелі режимів роботи нагнітача, де виводитимуть дані, які зчитуються з давачів, а саме: тиск перед всмоктуючою камерою –  $P_{вх}$  (кгС/см<sup>3</sup>), фактична частота обертів –  $N$  (об/хв), перепад тиску на всмоктуючій камері –  $dP_k$  (мм. рт. ст)..

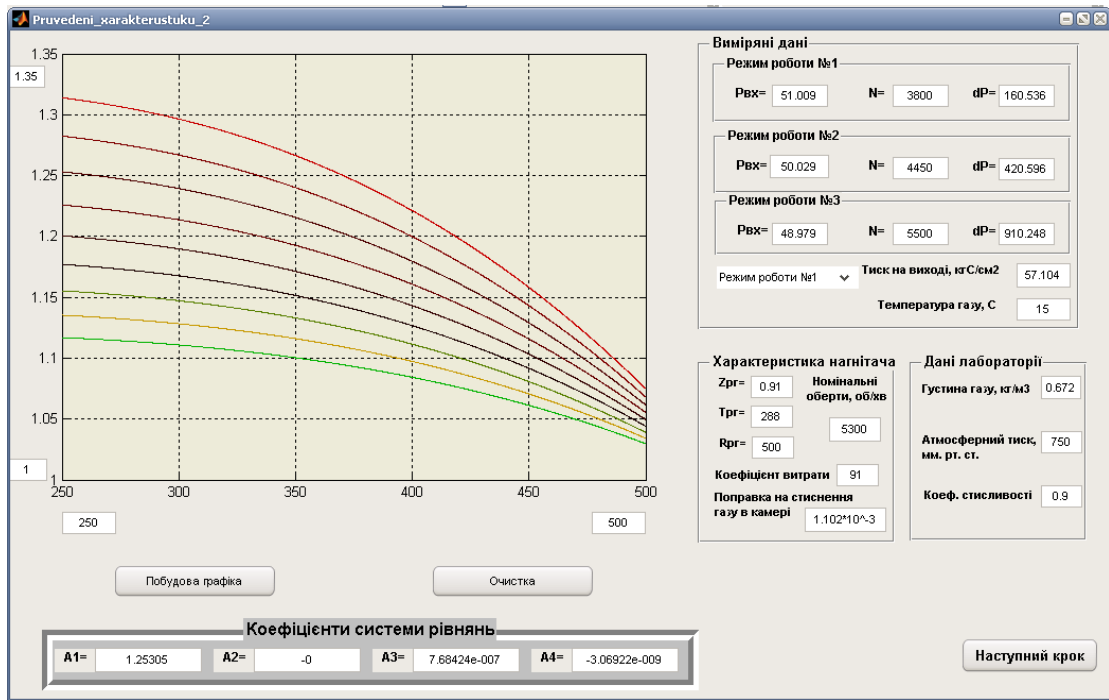


Рисунок 3.4 – Графічний інтерфейс програми у Simulink [11]

**Виміряні дані**

**Режим роботи №1**  
 Rvx= 51.009    N= 3800    dP= 160.536

**Режим роботи №2**  
 Rvx= 50.029    N= 4450    dP= 420.596

**Режим роботи №3**  
 Rvx= 48.979    N= 5500    dP= 910.248

Режим роботи №1 ▼    Тиск на виході, кгС/см2    57.104  
 Температура газу, С    15

Режим роботи №1  
 Режим роботи №2  
 Режим роботи №3

Рисунок 3.5 – Вікно «Виміряні дані» [11]

Перед побудовою графіка потрібно ввести дані лабораторії: щільність газу (кг/м<sup>3</sup>), атмосферний тиск (мм. рт. ст.), коефіцієнт стисливості, та характеристику нагнітача: номінальні оберти (об/хв), коефіцієнт витрати, поправка на стиснення

газу в камері; умови проведення –  $Z_{pr}$ ,  $N_{pr}$ ,  $R_{pr}$ .

Характеристика нагнітача		Дані лабораторії	
Z <sub>pr</sub> =	0.91	Густина газу, кг/м <sup>3</sup>	0.672
Т <sub>pr</sub> =	288	Атмосферний тиск, мм. рт. ст.	750
R <sub>pr</sub> =	500	Коеф. стисливості	0.9
Коефіцієнт витрати	91		
Поправка на стиснення газу в камері	1.102*10 <sup>-3</sup>		
Номінальні оберти, об/хв	5300		

Рисунок 3.6 – Вікно «Характеристика нагнітача» і «Дані лабораторії»

Після отримання всіх необхідних даних здійснюється побудова графіка шляхом натискання кнопки «Побудова графіка». В результаті відображаються коефіцієнти  $A$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  та криві фактичної нормованої характеристики КВТ. Для побудови нових кривих за оновленими даними необхідно натиснути кнопку «Очистити», після чого повторити введення та зчитування даних за потреби[11].

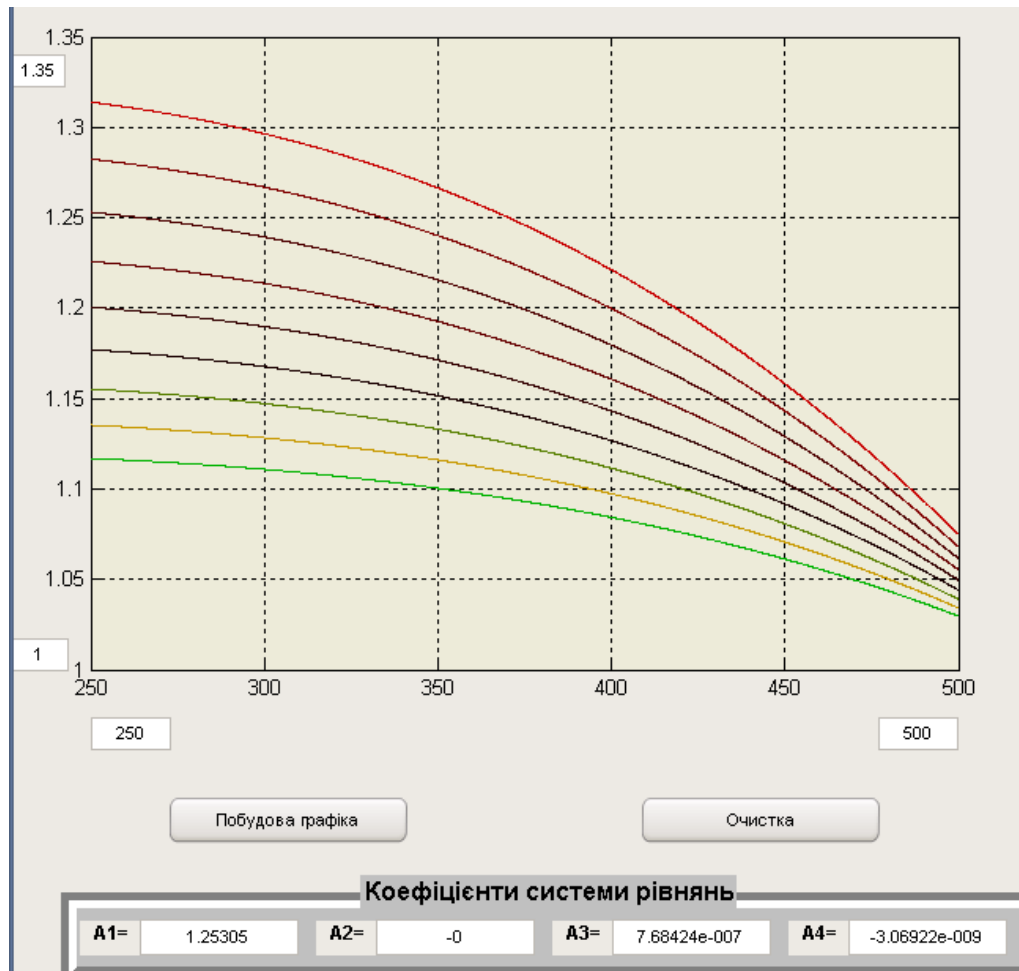


Рисунок 3.7 – Криві фактичної приведені характеристики компресора відцентрового типу в програмі [11]

Потрібно звернути увагу на те, що файл `Pruvedeni_xarakterustuku_2.m` може знаходитися в будь-якому каталозі, але перед запуском програми потрібно вказати пакету MATLAB шлях до цього файлу. Це можна зробити з командного меню (File | Set Path) або безпосередньо в командному вікні (`addpath шлях_до_файлу`).

У програмі, розробленій в середовищі MATLAB, за допомогою відповідних функцій виконуються необхідні математичні розрахунки, результатом яких є побудова графіка залежності ступеня стиснення КВТ  $E$  від витрати за об'ємом газу  $Q_{np}$ .

Обмін даними з регулятором здійснюється за допомогою функцій **read** та **write**. Наприклад, для зчитування вихідного значення регулятора використовується команда:

Зчитування даних виходу регулятора **read(AO\_C)**; змінна AO\_C має тип 'структура', тому для прочитування значення потрібний покажчик, **read(AO\_C.Value)**; а для запису значення покажчик не потрібний, **write(AO\_C,100)**. Функція **CreateFcn** виконується одноразово при запуску програми, а функція **Callback** виконується після певної дії (зміна значення або натиснення кнопки). Опис всіх використаних функції можна знайти в довідці MATLAB Help.

### Висновки до розділу

Розроблено алгоритм для створення програмного забезпечення, що забезпечує визначення реальних приведених характеристик відцентрових нагнітачів. Запроектовано систему збору даних з технологічного об'єкта та їх передачі на персональний комп'ютер оператора для подальшого аналізу.

Реалізовано програму отримання нормованих характеристик компресора відцентрового типу в середовищі MATLAB, яка забезпечує можливість моніторингу в режимі реального часу зміни нормованої характеристики газоперекачувального агрегату.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ НОРМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КВТ

### 4.1 Підходи до розпізнавання об'єктів та порівняння їх характеристик

Підходи до розпізнавання об'єктів класифікують за різними принципами. Найбільш важливими є такі, згідно яких методи ідентифікації поділяються на наступні чотири групи: аналітичні і компенсаційні; статистичні і нестатистичні (детерміновані); градієнтні і неградієнтні; пошукові і безпошукові [4,8].

Оцінки параметрів об'єкту визначають за співвідношеннями, що зв'язують характеристики вихідного, сигналу з параметрами об'єкту і характеристиками вхідного сигналу.

Аналітичні методи мають відносно велику швидкодію в припущенні, що для аналізу відповідних характеристик і розв'язку необхідних рівнянь зв'язку або систем рівнянь застосовують обчислювальні машини. При аналітичному методі немає необхідності в спостереженні або вимірюванні функціонале якості. Таким чином, аналітичні методи є розімкненими [8].

Недоліком аналітичних методів є те, що вони зазвичай вимагають математичного опису вхідних і вихідних сигналів або їх статистичних характеристик. Неточність ідентифікації при цьому підході безпосередньо пов'язана з похибкою обчислень, неточністю математичного опису сигналів, обумовленою неврахуванням нестационарності і наявністю перешкод.

При компенсаційних методах застосовують моделі об'єкту, сполучені з ним певним чином. Структура моделі вибирається евристично на основі деяких даних про об'єкт і вимог до точності і складності його опису. Структура послідовної моделі вибирається оберненою до моделі об'єкту, а структура паралельної моделі ідентична структурі гіпотетичної моделі об'єкту. Показники параметрів моделі, при яких міра якості  $I$  має оптимальне

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення, приймають як оцінки параметрів об'єкту. Можлива система з послідовно-паралельною моделлю.

Компенсаційні методи відносяться до замкнених методів, оскільки з їх допомогою проводять ідентифікацію на основі стеження за мірою якості  $I$ . При цьому зменшуються похибки, обумовлені нестационарністю, і виключаються похибки, пов'язані з математичним описом вхідних і вихідних сигналів. Компенсаційні методи не вимагають математичного опису сигналів. Їх швидкодія, яка залежить, в основному, від початкового стану моделі і швидкості збіжності алгоритму оптимізації  $I$ , звичайно менша від швидкодії аналітичних. Застосування компенсаційних методів вимагає наявності моделі об'єкту, а також оптимізуючого пристрою, в чому полягає їх складність [8].

Статистичні методи ідентифікації ґрунтуються на використанні статистичних характеристик (функцій розподілу, кореляційних функцій, спектральної густини, моментів та ін.) сигналів, які використовують для ідентифікації. При цьому міра якості  $I$  формується у вигляді деякого середнього ризику. Статистичний підхід необхідний за наявності випадкових перешкод, оскільки він дозволяє зменшити невизначеність результату ідентифікації [8].

Недолік статистичних методів полягає в тому, що вони вимагають або знання вищезгаданих статистичних характеристик, або часу для їх визначення (часу усереднювання). Похибка статистичних методів, в основному, обумовлюється неточністю знання або визначення статистичних характеристик.

Нестатистичні (детерміновані) методи засновані на ідентифікації детермінованих функціональних залежностей, що пов'язують параметри вихідного сигналу з параметрами об'єкту і вхідного сигналу. Ці методи застосовуються за відсутності перешкод.

Гradientні методи ідентифікації містять gradientні алгоритми оптимізації міри якості  $I$ . Рух до оптимального значення  $I$  проводиться по gradientу у бік його оптимального значення з швидкістю, пропорційною

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

градієнту  $I$ . Чисто градієнтний метод застосовується, коли міра якості строго унімодальна.

Недолік градієнтних методів обумовлений, в основному, недосконалістю міри якості, в якій зазвичай параметри об'єкту взаємозв'язані. В результаті цього отримані оцінки останніх можуть бути зміщеними. Складність реалізації градієнтних систем ідентифікації полягає в необхідності наявності пристроїв для визначення компонент градієнту функціоналу  $I$ .

При неградієнтних методах здійснюють рух до оптимального значення функціоналу якості  $I$  неградієнтним способом і немає необхідності в безперервному визначенні компонент градієнту  $I$ . Визначають тільки напрям зменшення функціоналу якості, уздовж якого відбувається рух, а також крок руху, що забезпечує певні якості процесу ідентифікації (наприклад, його збіжність).

Безпошукові методи не вимагають застосування спеціальних пошукових параметричних сигналів, і тому вони позбавлені недоліків, пов'язаних з останніми. Для цілей ідентифікації зазвичай використовують вхідні сигнали об'єкту. Це означає, що перешкоди, які складаються з корисним сигналом на вході об'єкту і моделі, є корисними сигналами для ідентифікації. При інформативних вхідних сигналах безпошукові методи мають швидкодію вищу за швидкодію пошукових методів.

Застосування методу ідентифікації тією або іншою групою обумовлюється конкретною ситуацією (наприклад, можливістю або неможливістю організації пошуку на об'єкт), його перевагами і зручністю реалізації [4].

#### **4.2 Розробка методу ідентифікації фактичних нормованих характеристик нагнітачів [8, 9]**

Розпізнавання помпажних характеристик компресора відцентрового типу (КВТ) ГПА з газотурбінним приводом компресорної установки є

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

актуальною науково-практичною проблемою у зв'язку з тим, що на базі таких характеристик формується висновок про необхідність проведення профілактичних робіт на двигуні і нагнітачі, або про оновлення помпажних характеристик. Крім цього, оптимальне керування ГПА стає неможливим без застосування в контурах управління, як еталонних моделей, так і моделей, які перебудовуються в залежності від умов перекачки газу [8, 9].

Тому метою є розробка системи розпізнавання та методу визначення фактичних нормованих витрато-напірних характеристик нагнітачів. Ці розробки стануть основою для оновлення програмного забезпечення підсистеми, яка запобігає помпажу. Завдяки цьому буде можливим точніше контролювати роботу нагнітача, покращити автоматичне управління і швидше реагувати на зміни в роботі системи. Більш ефективним є використання компенсаційних методів, що базуються на моделі об'єкта, яка з'єднується з реальним об'єктом послідовно, або паралельно (рис. 4.3, рис. 4.4) [8].

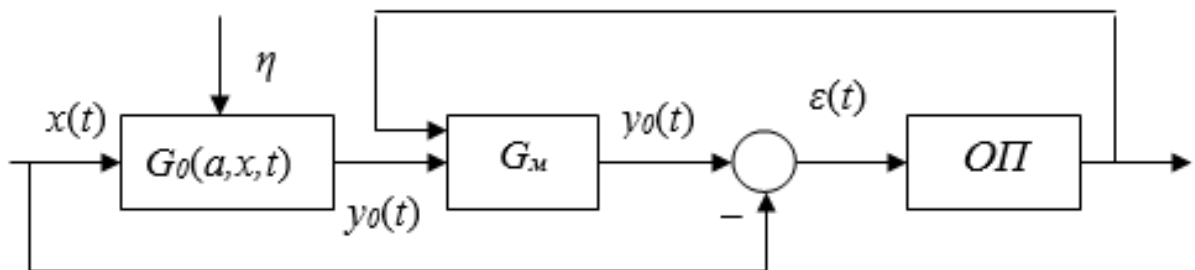


Рисунок 4.3 – Схема компенсаційної системи ідентифікації помпажних характеристик з послідовною моделлю:  $G_m$  – оператор моделі;  $x(t)$  - вхідний сигнал;  $y_o(t)$  – вихідний сигнал об'єкту;  $G_m^*$  – деяке значення оператора  $G_m$ , яке є оцінкою оператора об'єкта  $G_o$ ;  $\eta$  – завади [8]

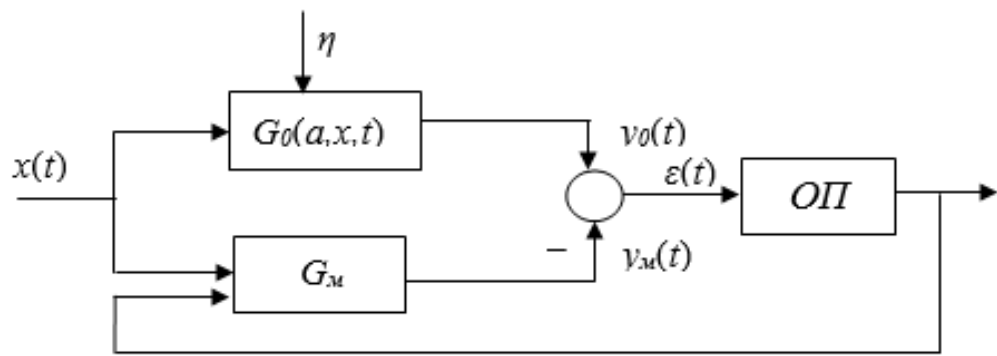


Рисунок 4.4 – Схема компенсаційної системи ідентифікації з паралельною моделлю [8]

Процеси, які відбуваються в об'єкті, описуються так:

$$G_0(a, x, t),$$

де  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$  – вектор параметрів об'єкта;  $x$  – вхідний сигнал;  $t$  – час.

Оскільки помпажні характеристики ГПА, нелінійні, то оператор  $G_0$  залежить також від вхідного сигналу  $x$ .

Математична модель  $G_m$ , яка описує процеси на виході об'єкта при відомих  $x$  і  $t$  і яка отримана як результат розв'язку задачі ідентифікації, є оцінкою оператора  $G_0$ , аналогічно  $a_i$  — оцінкою  $i$ -го параметра об'єкта [8].

Структура моделі вибирається евристично на базі деяких архівних даних про помпажні характеристики і вимоги до точності і складності опису.

Структура послідовної моделі вибирається як обернена по відношенню до структури гіпотетичної моделі об'єкта, а структура паралельної моделі ідентична структурі гіпотетичної моделі об'єкта.

Значення параметрів моделі  $G_m$ , при яких показник якості ідентифікації  $I$  має оптимальне значення, вибрані як оцінки параметрів помпажних характеристик відцентрового нагнітача газу.

Обчислимо функції передачі для моделей  $G_0$  і  $G_m$ .

На сьогодні, при розробці промислових САК динамічні властивості об'єкта більшістю описується так [8]

:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{a_2p^2 + a_1p + 1} \quad (4.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення визначається в процесі зняття статичних характеристик об'єкта.

Функція передачі КВТ разом з ГТУ матиме вигляд [5]:

$$W(p) = \frac{k}{p^2 + 7.45p + 13.651} \quad (4.3)$$

Для знаходження коефіцієнт підсилення  $k$  проаналізуємо еталонну характеристику  $E(Q_{пр})$  ВН типу 370 при  $n_{пр}=1$ . Апроксимуємо криву за допомогою інтерполяційного многочлена Лагранжа для отримання рівняння статичної характеристики. Обрахунки проведемо в програмі MathCad [7].

Значення величин для рівняння  $E = e(q)$  :

$$0\text{-а точка: } q_0 := 250 \quad e_0 := 1.275$$

$$1\text{-а точка: } q_1 := 350 \quad e_1 := 1.248$$

$$2\text{-а точка: } q_2 := 500 \quad e_2 := 1.125$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння  $E = e(q)$

$$L_0(q) := e_0 \cdot \frac{(q - q_1) \cdot (q - q_2)}{(q_0 - q_1) \cdot (q_0 - q_2)}$$

$$L_1(q) := e_1 \cdot \frac{(q - q_0) \cdot (q - q_2)}{(q_1 - q_0) \cdot (q_1 - q_2)}$$

$$L_2(q) := e_2 \cdot \frac{(q - q_0) \cdot (q - q_1)}{(q_2 - q_0) \cdot (q_2 - q_1)}$$

$$E(q) := L_0(q) + L_1(q) + L_2(q)$$

$$E(q) \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 4 \end{array} \right. \rightarrow -2.200 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 1.050 \cdot 10^{-3} \cdot q + 1.150$$

### Знаходження похибки [8]

$$e(q) := \begin{pmatrix} 1.275 \\ 1.248 \\ 1.2 \\ 1.125 \end{pmatrix} \quad q := \begin{pmatrix} 250 \\ 350 \\ 425 \\ 500 \end{pmatrix}$$

$$T := q \quad Y := e(q)$$

Обробка експериментальних даних:

$$k1 := \text{rows}(Y) \quad k1 = 4 \quad tk := T_{k1-1} \quad q := 250, 265 .. 500$$

$$S := \text{cspline}(T, Y) \quad h(t) := \text{interp}(S, T, Y, t)$$

$$\Delta(q) := \frac{(E(q) - h(q))100}{h(tk)}$$

$$|\Delta(q)| =$$

0
0.03
0.047
0.052
0.046
0.033
0.015
$7.733 \cdot 10^{-3}$
0.032
0.055
0.076
0.093
0.102
0.104
0.094
0.071
0.034

Графік  $(\Delta(q))$

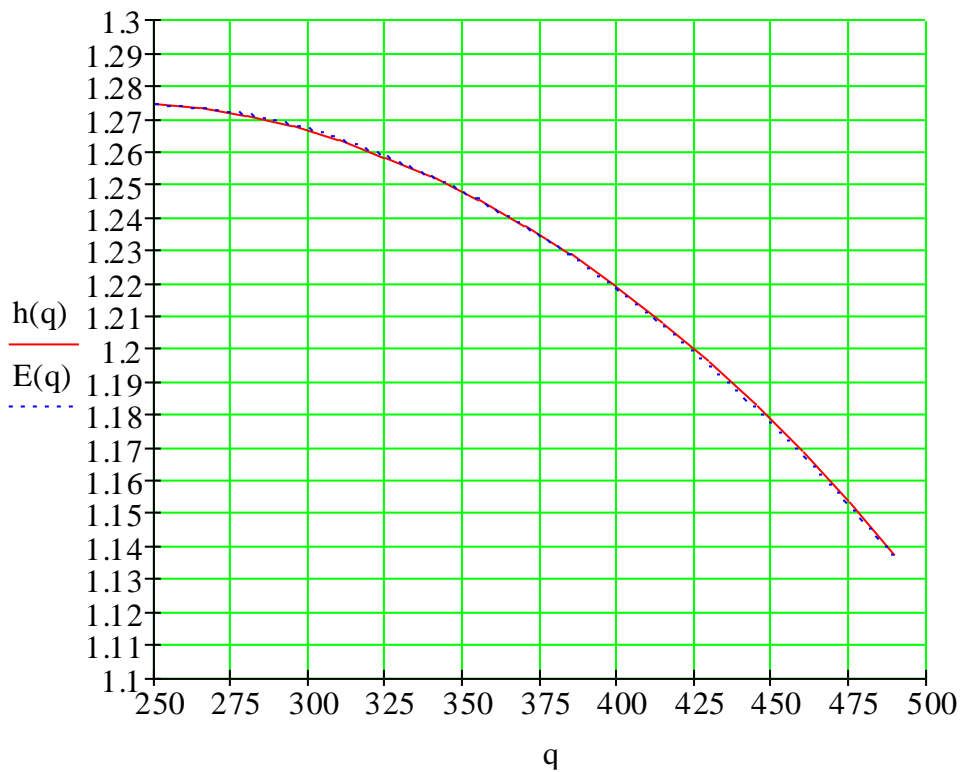


Рисунок 4.5 - Залежність ступеня стиску  $E$  від приведеної витрати  $Q_{пр}$  [8]

Щоб порівняти, наведемо дві характеристики КВТ: еталонну й отриману фактичну.

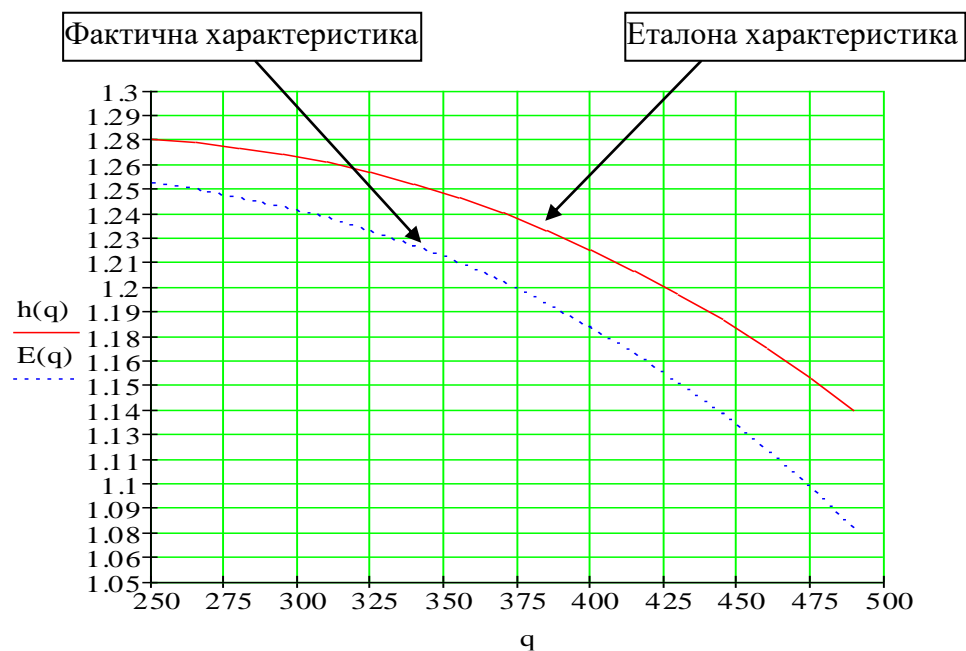


Рисунок 4.6 – Еталонна та фактична характеристики нагнітача [8]

Коефіцієнт передачі  $k$  знайдемо як значення похідної в робочій точці ( $Q_{np}=300$ ) [9]:

$$k = \frac{\partial \varepsilon}{\partial Q_{np}} \Big|_{Q_{np}=300}, \quad (4.4)$$

$$k = (-2.200 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 1.050 \cdot 10^{-3} \cdot q + 1.15)' \Big|_{Q_{np}=300},$$

$$k = -2.7 \cdot 10^{-4}$$

Отже, функція передачі об'єкта буде мати вигляд [5]:

$$W_0(p) = \frac{-2.7 \cdot 10^{-4}}{p^2 + 7.45p + 13.651} \quad (4.5)$$

Функція передачі для об'єкта із знайденими характеристиками матиме вигляд:

$$k = (-3.069 \cdot 10^{-9} \cdot q^3 + 7.684 \cdot 10^{-7} \cdot q + 1.253)' \Big|_{Q_{np}=300}$$

$$k = -3.669 \cdot 10^{-4}$$

$$W_0(p) = \frac{-3.669 \cdot 10^{-4}}{p^2 + 7.45p + 13.651} \quad (4.6)$$

Змодельємо систему розпізнавання з паралельною моделлю в програмному пакеті Simulink (рис.4.7):

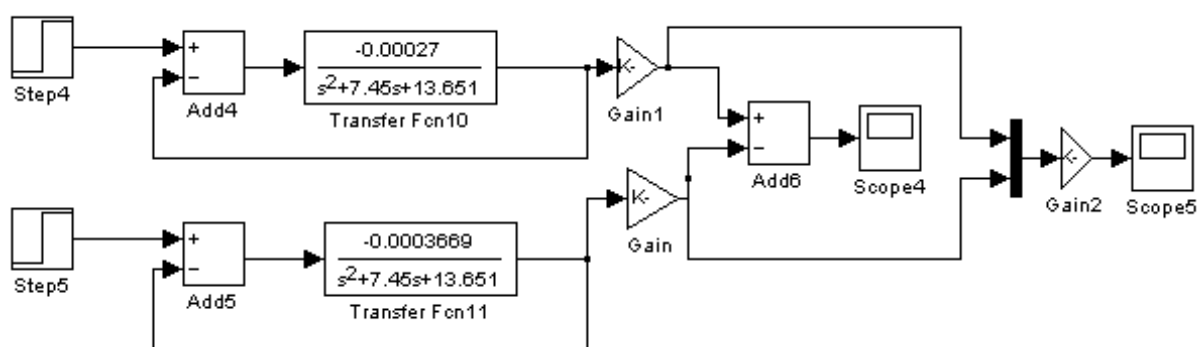


Рисунок 4.7 – Система розпізнавання з паралельною моделлю програмному пакеті Simulink [8]

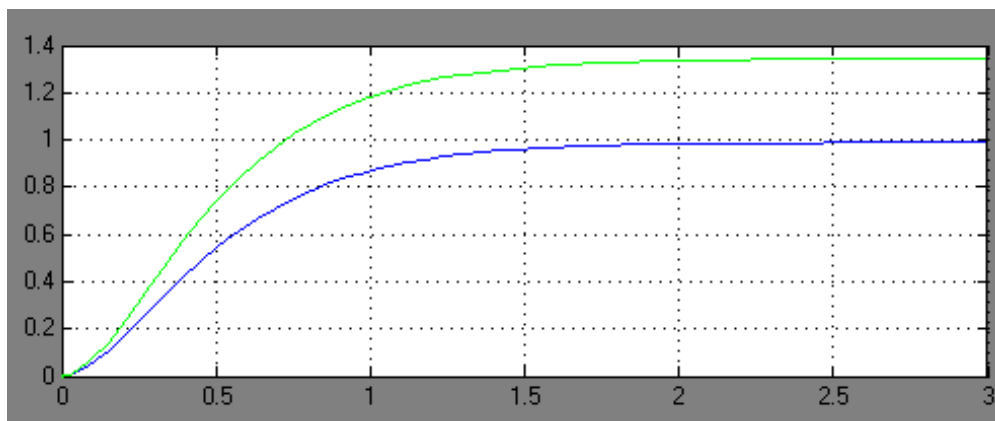


Рисунок 4.8 – Динаміка системи при змінних значеннях коефіцієнта підсилення  $k$  [8]

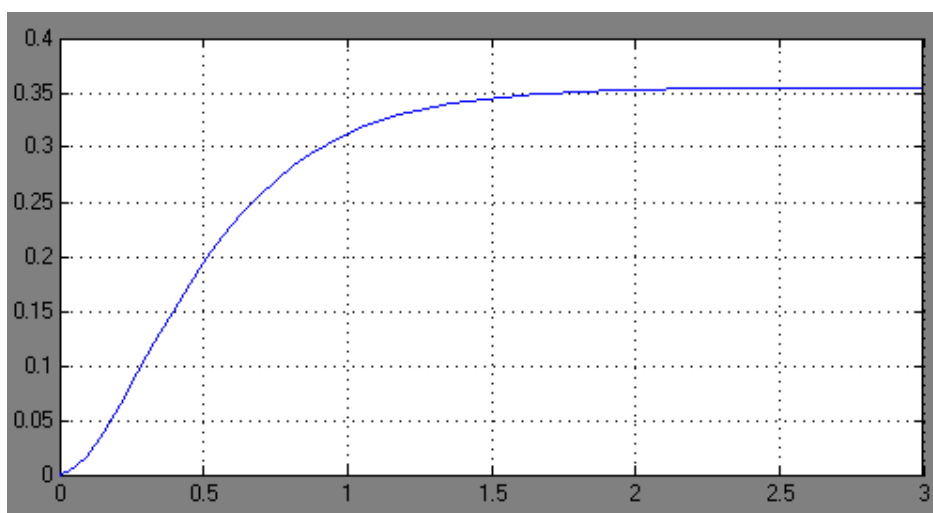


Рисунок 4.9 – динаміка при відхиленні  $\varepsilon$  [8]

Для здійснення перевірки функціонування програми слід перейти до вікна №2, у якому виконується апроксимація еталонної характеристики та виводиться відхилення фактичної характеристики від неї. Для переходу до вікна №2 (рис. 4.10) необхідно скористатися кнопкою «Наступний крок» (рис. 4.4). У вказаному вікні, в області «Еталонна характеристика», користувач повинен ввести три контрольні точки для побудови апроксимованої характеристики, а також задати передавальну функцію досліджуваного

об'єкта. Натискаємо кнопку «Побудова графіка» ще раз і матимемо відхилення  $\varepsilon$  (рис. 4.12).

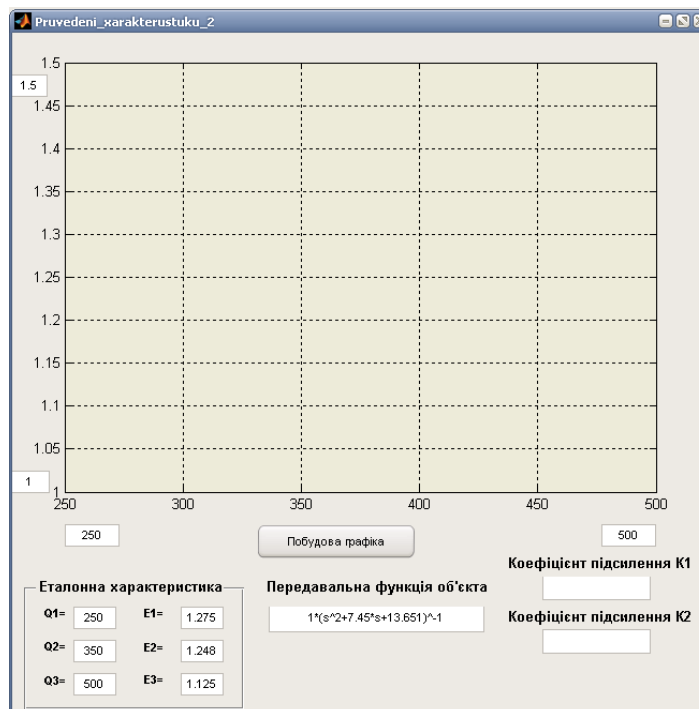


Рисунок 4.10 – Вікно №2 [8]

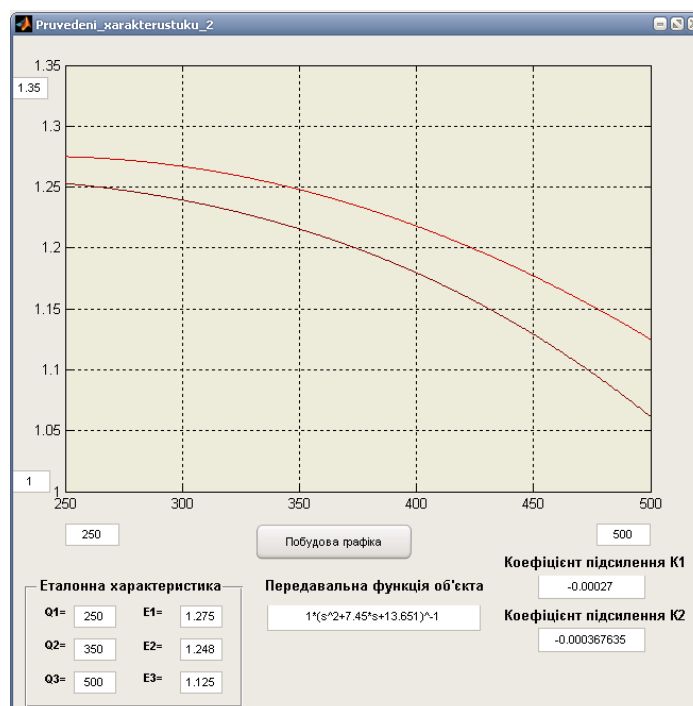


Рисунок 4.11 – Нормовані характеристики: еталонна (верхня) та фактична (нижня)

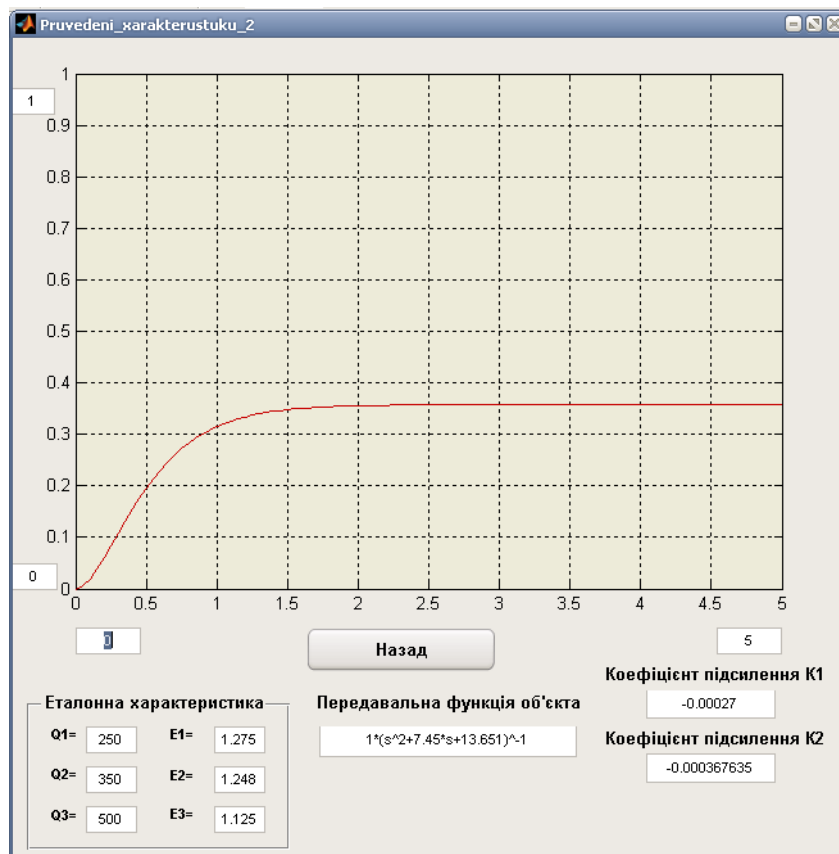


Рисунок 4.12 – Відхилення  $\varepsilon$  [8]

### Висновок до розділу

Розроблено і досліджено метод ідентифікації приведених характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів з паралельною моделлю, що дозволяє реалізувати систему автоматичної ідентифікації нормованих характеристик ВН газоперекачувальних агрегатів та отримання відхилення  $\varepsilon$ , за допомогою якого відбуватиметься пряме керування байпасного крану для регулювання витрати. Таким чином запобігатиме виникненню аварійних ситуацій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даному розділі було розглянуто основні функції газотранспортних установок, які забезпечують безперервне, надійне та ефективне транспортування природного газу магістральними трубопроводами. Було досліджено нормовані характеристики компресора нагнітального типу є важливим інструментом для аналізу його роботи в різних режимах, незалежно від конкретних умов навколишнього середовища чи параметрів подачі газу.

Метод розрахунку витрати газу за перепадом тиску на конфузори відцентрового нагнітача було вдосконалено, що дозволило в реальному часі визначати нормовані характеристики  $Q_{пр}$  і  $E_{пр}$  та будувати графіки фактичних нормованих характеристик газоперекачувальних агрегатів.

Розроблено алгоритм для побудови програми, яка визначатиме реальні приведені характеристики відцентрового нагнітача, що дало змогу створити систему отримання даних з об'єкта і передачі їх на персональний комп'ютер оператора.

Удосконалено метод розпізнавання помпажних характеристик КВТ з газотурбінним приводом компресорної установки, що є актуальною науково-практичною проблемою у зв'язку з тим, що на базі таких характеристик формується висновок про необхідність проведення профілактичних робіт на двигуні і нагнітачі.

Розроблено програму в Matlab для визначення нормованих характеристик компресорів відцентрового типу ГПА, на основі яких формується висновок про технічний стан двигуна і нагнітача та необхідність внесення змін в програмне забезпечення підсистеми, що заробігає помпажу та аварії.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельник О. І. Системи автоматизації технологічного процесу нафтогазовидобувних підприємств: [монографія] / О.І. Мельник Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ. – 2015. – 322 с.
2. Семенцов Г.Г. Автоматизація технологічних процесів та виробництв в нафтовій та газовій промисловостях: [навч.посіб.] /М.І. Горбійчук, Г.Н.Семенцов, М.М. Дранчук, Я. Р. Когуч та ін. – Івано-Франківськ: Факел. – 2003. – 327 с.
3. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування.– К.: Задруга, 1999. – 424 с.
4. Шавранський М.В. Методи і алгоритми ідентифікації та прогнозування в умовах невизначеності: Лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2023. – 60 с.
5. Горбійчук М.І., Чигур Л.Я. Теорія автоматичного керування. Нелінійні системи. Лабораторний практикум, ІФНТУНГ, 2024. – 84 с.
6. Горбійчук М.І. Автоматизація технологічних процесів та виробництв [Текст]: метод. вказ. для викон. курс. проект. / М. І. Горбійчук, В. С. Борин, М. І. Когутяк. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 40 с.
7. Програмування у середовищі Matlab. Режим доступу: <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-mapreduce-hadoop.html>
8. Семенцов Г. Н. Ідентифікація помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату / Г.Н.Семенцов, Ю. Є.Бляут. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/73906023.pdf> .
9. Бляут Ю.Є. Енергоощадна технологія для антипомпажного керування відцентровими нагнітачами газоперекачувальних агрегатів докачуючої компресорної станції підземного сховища газу. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/73905525.pdf>
10. Бляут Ю.Є Автоматична ідентифікація реальних приведених витратно-напірних характеристик відцентрових нагнітачів / Ю. Є. Бляут, Л. І.

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Давиденко. – Режим доступу:

<https://core.ac.uk/download/pdf/76238626.pdf>

11. Слободян А.В. Система передпмпажного попередження та визначення робочої точки газоперекачувального агрегату типу гтк-10 на базі мікропроцесорного контролера МІК-51 / А. В. Слободян. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/73905091.pdf>

					БР. АКП - 11.00.00.000. ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		