

## ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОМПАЖНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ В РЕЖИМІ ON-LINE

Ю.Є. Бляут, М.О. Петеш

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067,  
e-mail: kafatp@ukr.net

*Розглядається проблематика зняття помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату. На базі синтезованих схемотехнічних рішень розроблено систему автоматичного зняття посажної характеристики відцентрових нагнітачів, яка може бути використана для проведення досліджень різного типу відцентрових нагнітачів з газотурбінними приводами. Наведено скорочений опис розроблених алгоритмів, опис ходу експерименту, що дозволяє оперативному персоналу отримувати інформацію про стан і хід проведення досліджень. Розроблено методику промислових випробувань системи автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом з двигуном НК-16-СТ в умовах ДКС ПСГ «Більче-Волиця», яка була покладена в основу випробувань запропонованої системи автоматичного зняття помпажної характеристики відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції. Промислові випробування підтвердили високі експлуатаційні показники розробленого методу.*

Ключові слова: ідентифікація, нагнітач, помпажна характеристика, методика, система, синтез.

*Рассматривается проблематика необходимости снятия помпажной характеристики центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата. На базе синтезированных схемотехнических решений разработана система автоматического снятия посажной характеристики центробежных нагнетателей, которая может быть использована для проведения исследований различного типа центробежных нагнетателей с газотурбинными приводами. Приведены краткое описание разработанных алгоритмов, описание хода эксперимента, что позволяет оперативному персоналу получать информацию о состоянии и ходе проведения исследований. Разработана методика промышленных испытаний системы автоматического управления газоперекачивающих агрегатов с двигателем НК-16-СТ в условиях ДКС ПХГ «Бильче-Волиця», которая была положена в основу испытаний предложенной системы автоматического снятия помпажной характеристики центробежного нагнетателя дожимной компрессорной станции. Промышленные испытания подтвердили высокие эксплуатационные показатели разработанного метода.*

Ключевые слова: идентификация, нагнетатель, помпажная характеристика, методика, система, синтез.

*We consider the necessity of removing the problems of surge characteristics of a centrifugal supercharger gas pumping stations. On the basis of the synthesized circuit technical solutions developed system for automatic removal of centrifugal superchargers posazhnovi characteristics that can be used to research different types of centrifugal blowers with gas turbine drive. An abbreviated description of the algorithms, a description of the experiment, allowing operational staff to obtain information on the status and progress of the research. The method of industrial tests of the automatic control of gas compressor units with engine NK-16-CT in OSR UGS "Bilche-Volvtzia" model underlies the proposed tests of the automatic removal of surge characteristics of a centrifugal supercharger dotyskuvalnoyi compressor station. Industrial tests confirmed the good performance indicators developed method.*

Keywords: identification, supercharger, surge characteristics, method, system synthesis.

**І Вступ.** Газотранспортна система України налічує в своєму складі 36,7 тис.км. газопроводів, зокрема магістральних газопроводів – 22,2 тис. км, газопроводів-відгалужень – 14,4 тис. км, 13 підземних сховищ газу (ПСГ) загальною ємністю понад 30 млрд. м<sup>3</sup>. Кількість газорозподільних станцій – 1425. Облік транспортованого та відпущеного споживачам газу ведеться 60-тма газовимірювальними станціями. До складу магістральних газопроводів входить 71 компресорна станція (КС). Парк газоперекачувальних агрегатів Компанії налічує 692 одиниці загальною потужністю 5379,9 МВт, у тому числі з газотурбінним приводом – 438, електроприводних – 158, газомотокомпресорних – 96. Ці потужності розміщені на 71 компресорній станції, до складу яких входить 108 компресорних цехів, що оснащені газоперекачувальними агрегатами (ГПА) вітчизняного та закордонного виробництва [1, 2].

ДК "Укртрансгаз" експлуатує одну з наймогутніших у Європі мережу ПСГ. Вони призначені для зняття сезонних пікових навантажень у використанні природного газу і є важливим та невід'ємним технологічним підрозділом газотранспортної системи України. На сьогодні Компанія експлуатує 13 ПСГ, два з яких створені на базі водоносних структур, а решта - на базі виснажених газових родовищ. Загальна активна місткість підземних газових сховищ становить понад 30,8 млрд.м<sup>3</sup>. Підземні газосховища Компанії мають багатоцільове призначення. Крім основного завдання - безперебійного і раціонального забезпечення споживачів природним газом, вони виконують і такі функції, як:

– додаткове подавання газу споживачам у випадку екстремального зниження температури як в окремі дні, так і у випадку аномально холодних зим за рахунок створення у ПСГ додаткових резервів газу;

– створення довгострокових резервів газу на випадок виникнення екстремальних ситуацій;

– забезпечення надійного транзиту російського газу територією України до країн Європи.

Вимірювання кількості газу та його якісних показників на вході в газотранспортну систему України здійснюють 11 газовимірювальних станцій (ГВС), а на виході з неї – 9. На останніх здійснюється облік газу та вимірювання його якісних характеристик при забезпеченні експорту до країн Європи та до країн Балканського регіону.

Враховуючи те, що газотранспортна система України найбільш активно створювалася і розбудовувалася протягом 60...80-х років, технологічне обладнання компресорних цехів та засоби автоматизації [3,4], які залишилися в спадок від часів тогочасного будівництва, застаріли, а тому не відповідають сучасним технічним вимогам, не забезпечують високої надійності та безпеки експлуатації, а також є надто енерговитратними і мають низький коефіцієнт корисної дії.

А тому в сучасних умовах впровадження нових автоматичних і автоматизованих систем для керування технологічними процесами транспортування газу, їх вдосконалення та розширення функціональних можливостей, зокрема автоматизація процесу ідентифікації помпажних характеристик, є важливим науково-практичним завданням.

**II. Постановка завдання.** Метою даної роботи є аналіз проблематики необхідності зняття помпажної характеристики нагнітача, розроблення процедури калібрування нагнітача і методики проведення випробувань на ГПА №20 ДКС «Більче-Волиця».

**II. Результати.** *Проблематика необхідності зняття помпажної характеристики.*

Протягом останніх років завдяки реалізації «Програми реконструкції компресорних станцій ДК «Укртрансгаз» частка сучасних газоперекачувальних агрегатів вітчизняного виробництва неухильно збільшується. ГПА, що відпрацювали свій моторесурс, замінюються високоефективними двигунами типів: Д-336-2, Д-336-8-2, АІ-336-10, ДТ-71, ДН-80, ДГ-90, ДН-70 з ККД, рівним 31-37% виробництва ДП НВКГ "Зоря-Машпроект" (м. Миколаїв), ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), ВАТ "Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання імені Фрунзе".

Одним з найважливіших завдань при реновації потужностей ДК «Укртрансгаз» є створення сучасних систем автоматизації виробництва та інформаційних комплексів для обробки технологічної і управлінської інформації. Підприємства, що займаються транспортуванням і підземним зберіганням газу, не можуть безпечно, якісно і надійно виконувати свої функції через недостатність, або несвоєчасність обробки та отримання інформації. На даний час тем-

пи розвитку суспільства є надзвичайно високими, а кількість сучасних засобів обчислювальної техніки і зв'язку, що застосовуються на виробництві, постійно зростає. При раціональному використанні та об'єднанні в потужні інформаційно-обчислювальні комплекси, сучасні засоби інформатизації та автоматики можуть не тільки суттєво підвищити рівень технологічної продуктивності підприємства, а й полегшити умови праці і оптимізувати виробничі витрати.

Протягом останніх десяти років шляхом впровадження інноваційної політики та програм НАК «Нафтогаз України» підприємствами ДК «Укртрансгаз» ведеться методична розробка та здійснюється впровадження сучасних комп'ютеризованих систем автоматизованого управління технологічними процесами підприємства [1,2]. Загалом системи, які впроваджуються на підприємстві та забезпечують його конкурентну спроможність на світовому ринку газопостачання, можна структурувати на 5 основних складових:

1. Управлінські системи забезпечення господарської діяльності підприємства: автоматизовані бухгалтерські комплекси, довідково-інформаційні системи, диспетчерські комплекси керування режимами роботи газотранспортної мережі.

2. Системи обліку газу із замірних діляниць та метрологічного забезпечення вимірювань якісних і кількісних показників транспортованого газу.

3. Автоматизовані системи керування технологічним процесом (АСК ТП) різного рівня: від компресорного цеху та компресорної станції, установок осушування газу і аж до систем телемеханіки цілого газопроводу від східного до західного кордону держави.

4. Інформаційно-розрахункові комплекси оптимізації та розрахунку технологічних режимів, діагностування і статистики роботи обладнання.

5. Системи автоматизації роботи низового рівня технологічного обладнання – системи автоматичного керування (САК) газоперекачувальних агрегатів (САК ГПА), газорозподільних станцій (САК ГРС), установок осушування газу (САК УОГ) та ін., які безпосередньо забезпечують утримання технологічного режиму роботи обладнання, дотримання порядку роботи виконавчих механізмів та виконання захисних алгоритмів і функцій регулювання.

Враховуючи те, що дана робота стосується забезпечення якісних показників, які необхідні для функціонування САК ГПА, як однієї з керуючих ланок складного технологічного процесу, зупинімося детальніше на розгляді її функцій та властивостей.

Метою створення нових поколінь САК ГПА є заміна існуючих фізично зношених та морально застарілих систем сучасними технічними засобами контролю і керування, які забезпечують зниження витрат при транспортуванні газу шляхом запобігання зупинкам технологічного процесу, підвищують безпеку експлуатації обладнання, дають змогу оптимізува-

ти процеси пуску, зупинки, керування ГПА, та, відповідно, підвищити технічний ресурс ГПА, надають персоналу достатній та достовірний об'єм інформації про хід технологічного процесу, а також зменшити час на технічне обслуговування та ремонт агрегатів.

Сучасна САК ГПА, згідно вимог галузевих нормативних документів ДК «Укртрансгаз» повинна бути розроблена згідно вимог ГОСТ 34.602-89 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы» і забезпечувати певні технічні характеристики.

Перелік основних керуючих функцій:

1. Автоматичне і ручне (за командами оператора) керування та захист технологічного обладнання агрегату у всіх режимах його роботи і в процесі переходу з режиму на режим, а також автоматичне регулювання основних параметрів у відповідності з технологічними алгоритмами.

2. Забезпечення режимів роботи, що передбачені технологічним процесом компримування газу, а саме:

- автоматичний пуск агрегату з ручною (по команді оператора) завантаженням в «Магістраль» і підтримка заданого режиму роботи;
- автоматичне розвантаження на холостий хід;

- підтримка агрегату в стані готовності до запуску з контролем умов готовності;
- автоматичний пуск агрегату;
- поетапний пуск;
- повернення на початок етапу у разі невиконання умов алгоритму та на вимогу оператора;

- нормальну зупинку агрегату;
- нормальну зупинку агрегату без стравлювання газу з контура нагнітача;
- аварійну зупинку агрегату із стравлюванням газу з контуру нагнітача за командою оператора, або в разі спрацювання захисту;
- екстренну аварійну зупинку агрегату при відмові основних функціональних вузлів САК – впливають на виконавчі механізми по фізичних каналах керування.

Перелік основних інформаційних функцій:

- безперервний, (або за викликом) контроль і вимірювання значень технологічних параметрів агрегату;
- контроль стану позиційних сигналів та представлення їх на екрані монітора пульта оператора та місцевій панелі;
- порівняння значень вимірюваних та розрахункових параметрів з заданими, формування технологічних, попереджувальних та аварійних сигналів і оперативне їх відображення. Звукова попереджувальна сигналізація та подання інформації оператору;
- сигналізація та оперативне відображення спрацювання блокувань і захистів на екрані монітора ПО;
- індикація стану виконавчих механізмів та пристроїв агрегату на мнемосхемі та пульта керування;

- формування масивів ретроспективної інформації про стан агрегату з можливістю їх перегляду та передачі для документування;

- формування обліково-звітної документації (добова відомість);

- контроль достовірності інформації від вимірювальних перетворювачів за результатами вимірювань;

- автоматичне перереключення на резервний канал у випадку недостовірної інформації від вимірювальних перетворювачів;

- контроль цілісності кіл давачів та виконавчих механізмів;

- самоконтроль стану технічних засобів – САК;

- автоматичний облік технічного ресурсу ГПА;

- розрахунок значень таких параметрів:

- а) ступінь стиснення;

- б) запас за помпажем нагнітача;

- в) витрати паливного газу;

- г) об'ємна продуктивність нагнітача;

- д) політропний ККД нагнітача;

- ж) потужність на валу приводної турбіни (ротора нагнітача).

Перелік основних функцій регулювання:

- автоматичне граничне регулювання (обмеження) швидкості наростання температури перед турбіною високого тиску (ТВТ);
- автоматичне граничне регулювання (обмеження за максимумом) температури перед ТВТ;

- автоматичний захист за максимальною частотою обертання роторів турбіни низького тиску (надалі – ТНТ) і ТВТ;
- антипомпажний захист і антипомпажне регулювання [5,6].

Швидкодія каналів дискретного керування та захисту ГПА - не більше 100мс. Швидкодія каналів керування та захисту ГПА за температурними параметрами - не більше 3сек.

Одним з найбільших в світі та найбільшим в системі ДК «Укртрансгаз» є Більче-Волицько-Угерське підземне сховище газу, яке експлуатується УМГ «Львівтрансгаз». Більче-Волицько-Угерське ПСГ облаштоване на базі виснаженого газового родовища, освоєння якого розпочалося в 60-ті роки минулого століття.

Технологія підземного зберігання природного газу полягає в тому, що як "резервуар" для збереження газу використовують просторові пористі підземні шари, що знаходяться на значній глибині. Глибина залягання накопичувальних шарів Більче-Волицько-Угерського родовища складає від 800 до 1600м. Природний газ закачують у такий шар у весняно-літній період, а відтак якийсь час зберігають в ньому у міжсезоння. За потребою в осінньо-зимовий період, відбирають із пласта для подачі споживачам. Необхідність у сховищах газу великої місткості обумовлено нерівномірністю такого споживання газу як протягом доби, так впродовж часу. Узимку потреба в газі зростає, улітку – знижується. Враховуючи те, що магістральні газопроводи працюють з відносно постійною продуктивністю, в системах газопоста-

Таблиця 1 – Технологічні показники Більче-Волицько-Угерського ПСГ

Показники	Одиниці виміру	Більче-Волицький поклад	Угерський поклад	ПСГ загалом
Загальний об'єм	млн.м <sup>3</sup>	25620	7830	33450
Активний об'єм	млн. м <sup>3</sup>	14350	2700	17050
Буферний об'єм в т. ч. залишкові запаси	млн. м <sup>3</sup>	11050 1300	5350 2200	16400 3500
Пластовий тиск:	МПа/кгс/см <sup>2</sup>			
максимальний				
– в робочій зоні	МПа/кгс/см <sup>2</sup>	7,65/78,0	4,27/43,5	
– середньозважений		6,63/67,6	4,01/40,9	
мінімальний				
– в робочій зоні	МПа/кгс/ см <sup>2</sup>	2,4/24,5	2,55/26,0	
– середньозважений		2,98/30,4	3,15/32,1	
Кількість експлуатаційних свердловин	одиниць	291	50	341
Продуктивність – середня за 100 днів	млн.м <sup>3</sup> /добу	111,4	18,1	129,5
Тривалість періоду відбору	доба	165	165	165

Таблиця 2 – Інформація про ГПА ДКС «Більче-Волиця»

№ з/п	Цех	Рік введення в експлуатацію	Тип ГПА	Привод	Загальна потужність, кВт
1	КЦ №1	1985р.	ГПА-Ц-6.3 – 8 шт.	НК-12СТ	50 400
2	КЦ №2	1987р.	ГПА-Ц-16 – 6 шт.	НК-16СТ	96 000
3	КЦ №3	1989р.	ГПА-Ц-16 – 5 шт.	НК-16СТ	80 000
4	КЦ №1А	1992р.	ГПА-Ц-16 – 4 шт.	НК-16СТ	64 000
5	КЦ №4	1993р.	ГПА-Ц-6.3В – 5 шт.	НК-12СТ	31 500

чання необхідні сховища значних об'ємів, які б забезпечили компенсацію надлишків та недостача газу при споживанні, а також для оперативної стабілізації об'ємів при подаванні в газорозподільні мережі. Газосховища необхідні також для створення довгострокових (резервних) запасів газу. Технологічні показники роботи Більче-Волицько-Угерського ПСГ наведені в табл. 1.

Газопроводом-перемичкою Ду-1200 ПСГ підключене до магістральних газопроводів Івацевичі-Долина-III Ду-1200, Ру-55 та КЗУ-II Ду-1200, Ру-55, а газопроводом Більче-Волиця-Долина-Богородчани Ду-1400, Ру-75 через компресорні станції Долина та Богородчани – до МГ «ДУД», «Союз», «Уренгой-Помари-Ужгород», «Прогрес». Початкова стадія закачування здійснюється самоплином. В подальшому газ на закачування в сховище дотискається компресорною станцією. Звідси і класифікація компресорних станцій, що розміщені на ПСГ, як дотискувальних. Більче-Волицько-Угерське ПСГ обслуговується ДКС «Більче-Волиця», технологічні показники якої наведені в табл. 2.

На ДКС «Більче-Волиця» перебувають в експлуатації п'ять компресорних цехів з кількістю ГПА – 28 шт., загальною потужністю 321 900 кВт.

В початковий період відбору газ із сховища в магістральний газопровід подається також самоплином. Після вирівнювання тисків у сховищі і магістральному газопроводі газ транспортується компресорною станцією. З наростанням різниці тисків між ПСГ та МГ доводиться нарощувати величину потужностей, які забезпечать подавання необхідних об'ємів природного газу в магістраль. Для забезпечення значного ступеня стиснення доводиться реалізовувати технологічні схеми кількоступеневої подачі газу в МГ. ДКС «Більче-Волиця» має технологічну можливість працювати в одно-, дво- і триступеневому режимі. Стиснення газу на закачування чи відбір може виконуватись компресорними цехами в один, два і три ступеня з організацією роботи агрегатів по послідовній, паралельній та послідовно-паралельній схемі. Для забезпечення «гнучкості» технологічних режимів ДКС «Більче-Волиця» свого часу, була обладнана двома типами газотурбінних перекачувальних агрегатів, на базі адаптованих авіаційних приводів та 5-ма типами нагнітачів (табл. 3).

До переваг ГПА з газотурбінним типом привода можна віднести: високу питому потужність на одиницю маси привода; можливість регулювання об'єму перекачування за рахунок зміни частоти обертання силової турбіни в ши-

Таблиця 3 – Характеристики ГПА, що експлуатуються на ДКС «Більче-Волиця»

Ст. №	Тип ГПА	ГТП		Нагнітач						
		Тип ГТП	ККД, %	Тип змінної проточної частини (ЗПЧ)	Q, млн. м <sup>3</sup> /добу	ККД, %	Р газу на вході, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Р газу на виході, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Ступінь стиск.	Номінальна частота обертів ротора, об/хв
КЦ №1, рік введення в експлуатацію - 1985										
1	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/41 - 1.45	11,57	80	2.773 (28.28)	4.021 (41)	1.45	8 200
2	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/41 - 1.45	11,57	80	2.773 (28.28)	4.021 (41)	1.45	8 200
3	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/56 - 1.45	12,04	82	3.79 (38.62)	5.49 (56)	1.45	8 200
4	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/41 - 1.45	11,57	80	2.773 (28.28)	4.021 (41)	1.45	8 200
5	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/29 - 1.65	8,237	80	1.724 (17.58)	2.845 (29)	1.65	8 200
6	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/29 - 1.65	8,237	80	1.724 (17.58)	2.845 (29)	1.65	8 200
7	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/29 - 1.65	8,237	80	1.724 (17.58)	2.845 (29)	1.65	8 200
8	ГПА-Ц-6.3	НК-12СТ	22,5	6.3/29 - 1.65	8,237	80	1.724 (17.58)	2.845 (29)	1.65	8 200
КЦ №2, рік введення в експлуатацію – 1987										
9	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/56 - 1.44	30,94	82	3.81 (38.85)	5.49 (56)	1.44	5 300
10	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/56 - 1.44	30,94	82	3.81 (38.85)	5.49 (56)	1.44	5 300
11	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/41 - 1.45	29,62	82	2.79 (28.5)	4.02 (41)	1.44	5 300
12	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/56 - 1.44	30,94	82	3.81 (38.85)	5.49 (56)	1.44	5 300
13	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/56 - 1.44	30,94	82	3.81 (38.85)	5.49 (56)	1.44	5 300
14	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/76 - 1.44	33,25	83	5.17 (52.73)	7.45 (76)	1.44	5 300
КЦ №3, рік введення в експлуатацію - 1989										
15	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/100 - 1.7	20,52	78	5.83 (59.4)	9.9 (101)	1.7	5 300
16	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/100 - 1.7	20,52	78	5.83 (59.4)	9.9 (101)	1.7	5 300
17	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/100 - 1.7	20,52	78	5.83 (59.4)	9.9 (101)	1.7	5 300
18	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/100 - 1.7	20,52	78	5.83 (59.4)	9.9 (101)	1.7	5 300
19	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/100 - 1.7	20,52	78	5.83 (59.4)	9.9 (101)	1.7	5 300
КЦ №1А, рік введення в експлуатацію - 1992										
20	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/29 - 1.6	16,5	74,5	1.778 (18.12)	2.845 (29)	1.6	5 200
				16/41 - 1.45	29,62	82	2.79 (28.5)	4.02 (41)	1.44	5 300
21	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/29 - 1.6	16,5	74,5	1.778 (18.12)	2.845 (29)	1.6	5 200
				16/41 - 1.45	29,62	82	2.79 (28.5)	4.02 (41)	1.44	5 300
22	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/41 - 1.45	29,62	82	2.79 (28.5)	4.02 (41)	1.44	5 300
				16/29 - 1.6	16,5	74,5	1.778 (18.12)	2.845 (29)	1.6	5 200
23	ГПА-Ц-16	НК-16СТ	27,5	16/41 - 1.45	29,62	82	2.79 (28.5)	4.02 (41)	1.44	5 300
КЦ №4, рік введення в експлуатацію - 1993										
24	ГПА-Ц-6.3В	НК-12СТ	24	6.3В/29 - 1.7	7,4	78	1.67 (17.06)	2.84 (29)	1.7	8 200
25	ГПА-Ц-6.3В	НК-12СТ	24	6.3В/29 - 1.7	7,4	78	1.67 (17.06)	2.84 (29)	1.7	8 200
26	ГПА-Ц-6.3В	НК-12СТ	24	6.3В/29 - 1.7	7,4	78	1.67 (17.06)	2.84 (29)	1.7	8 200
27	ГПА-Ц-6.3В	НК-12СТ	24	6.3В/41 - 1.45	11,55	80	2.77 (28.27)	4.02 (41)	1.45	8 200
28	ГПА-Ц-6.3В	НК-12СТ	24	6.3В/41 - 1.45	11,55	80	2.77 (28.27)	4.02 (41)	1.45	8 200

рокому діапазоні; можливість використання транспортованого газу як палива; відносно мала витрата води й мастил; реальні можливості модернізації задля збільшення основних показників ГТУ і, насамперед, їх ККД.

До недоліків ГПА з газотурбінним приводом варто віднести: достатньо низький ККД агрегатів 22...33%, що призводить до зайвої перевитрати паливного газу; відносно високий рівень шуму (особливо в районі повітрязбірної камери ГТУ) і понаднормові викиди шкідливих речовин.

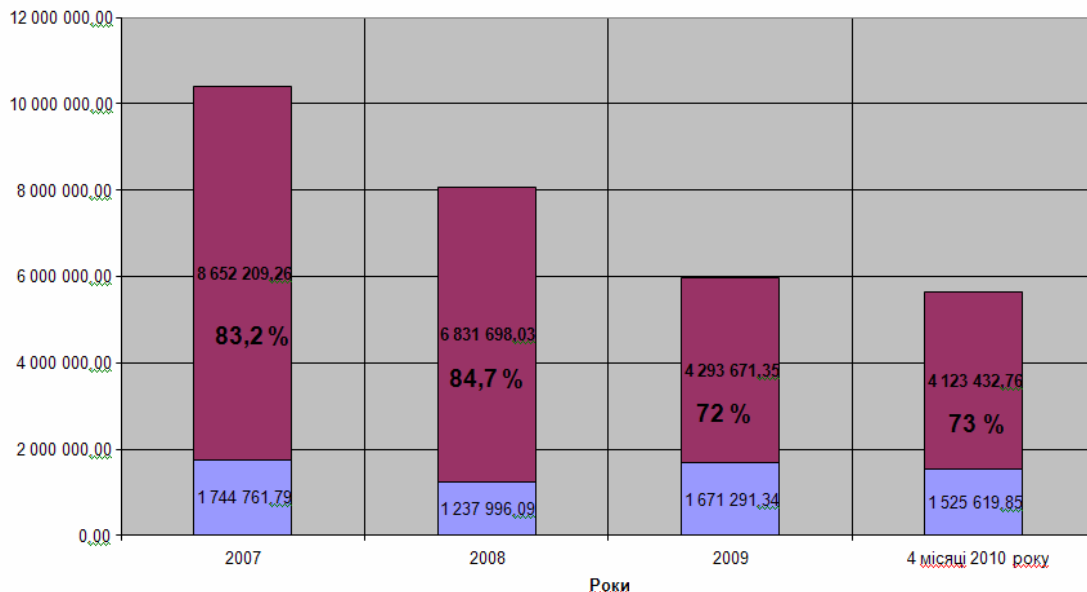
В залежності від режиму роботи ДКС відцентрові нагнітачі газоперекачувальних агрега-

тів конструктивно виконані таким чином, що можуть бути переобладнані змінними проточними частинами на різні номінальні вихідні тиски: 2,9; 4,1; 5,6; 7,6; 10 МПа. Адаптація авіаційних приводів НК-12СТ та НК-16СТ полягає у використанні ними транспортованого природного газу як палива та деяких незначних конструктивних змін, зумовлених пристосуванням до «наземної» експлуатації.

До складу ДКС «Більче-Волиця» також входять:

установки апаратів повітряного охолодження газу (в кожному КЦ);  
дві установки очищення і осушування газу;

Компримування, тис. м<sup>3</sup>



об'єм компримування газу ГПА-Ц-6.3, тис. м<sup>3</sup> - ■ ;  
 об'єм компримування газу ГПА-Ц-16, тис. м<sup>3</sup> - ■ .

Рисунок 1 – Об'єми компримування газу ГПА на ДКС «Більче-Волиця»

два вузли обліку газу (ВЗГ 7,5 МПа; ВЗГ 5,5 МПа);  
 крановий вузол підключення ДКС;  
 дві установки підготовки пускового, паливного і імпульсного газу;  
 очисні споруди;  
 склад ПММ з насосною.

Основний об'єм транспортованого ДКС газу (а це від 72 до 85%) при роботі ГПА в одному циклі «відбір – закачування», підземне сховище газу припадає на роботу агрегатів типу Ц-16 (16МВт), а саме на цехи №1А та №2, що показано на діаграмі рис. 1.

Цех №3 (складається з 5-ти ГПА Ц-16) з нагнітачами на 10МПа і практично не експлуатується через використання ПСГ до 50% від можливої проектної потужності (агрегати мають напрацювання 5-7 тис. мотогодин від початку експлуатації з 1989р. порівняно з агрегатами цехів №1А і №2 з напрацюванням в середньому близько 20 тис. мотогодин). Недосягнення проектних показників з закачування та відбирання газу по ПСГ пояснюється неготовністю обладнання і персоналу забезпечити необхідний режим, а з причин відсутності необхідних об'ємів газу, якими б можна було «дозаповнити» Більче-Волицько-Угерське ПСГ (на діаграмі вимір в млрд. м<sup>3</sup>).

Зараз на рівні ДК «Укртрансгаз» та УМГ «Львівтрансгаз» розробляються техніко-економічні обґрунтування з метою реконструкції цеху №3 і залучання його в роботу ДКС при реальних технологічних режимах. Недозаповнення ПСГ до проектних показників та наявність компресорних цехів, які проектувалися під більш продуктивні (за об'ємами) режими роботи ДКС призводить до того, що ГПА доводить-

ся часто експлуатувати в граничних режимах роботи (наприклад, для забезпечення транспортування газу заданого об'єму трьох ГПА забаргато, і утримувати їх в роботі економічно недоцільно, а два ГПА з заданим об'ємом – не справляються).

У ході аналізу завантаженості та відмов (аварійних зупинок - АЗ) технологічного обладнання ДКС «Більче-Волиця» визначено одну з основних причин, яка призводить до аварійних зупинок ДКС та позапланових ремонтів (табл. 4), та діаграмами (рис. 2.).

Значну частку відмов (25%) складають аварійні зупинки, спричинені безпосередньо явищами помпажу. Крім цього, в 37% відмов механічного обладнання імовірно входять також і зупинки, спричинені прихованим наслідками, які були викликані попередніми граничними перевантаженнями обладнання під час помпажу.

**Алгоритм виконання процедури калібрування нагнітача.**

В результаті обробки вхідних параметрів, що поступають в САК ГПА, та проведення самостійних автоматичних обчислень система отримує всі необхідні дані для побудови робочої точки, що є відображенням поточного стану нагнітача та виконуваної ним транспортної роботи в режимі реального часу (рис.3).

З розрахованої робочої точки можна зробити такі висновки: ГПА з нагнітачем типу ВН-16/56-1,44 працює на обертах, нижчих за номінальні (орієнтовно 0,89\*5300 об/хв. = 4717 об/хв.), за ступенем стиснення ≈ 1,377, з приведеною продуктивністю Qпр = 540 м<sup>3</sup>/хв.

Таблиця 4 – Статистика відмов обладнання по ДКС "Більче-Волиця" 2001-2009 рр.

Рік	Кількість АЗ всього	Кількість АЗ за помпажем	Кість АЗ відмови механічного обладнання	Кість АЗ відмови обладнання КВПіА	Кість АЗ енергетичне обладнання	Наробка ГПА мото/год
2001	4	1		2	1	
2002	13	6	3	4		
2003	19	10	6	3		
2004	13	1	7	4	1	
2005	11	1	5	3	2	24346
2006	21	3	4	8	6	23189
2007	10	2	5	3		16656
2008	14	2	8	4		13781
2009	1		1			12781
2010	0					16786
Всього:	106	26	39	31	10	107539

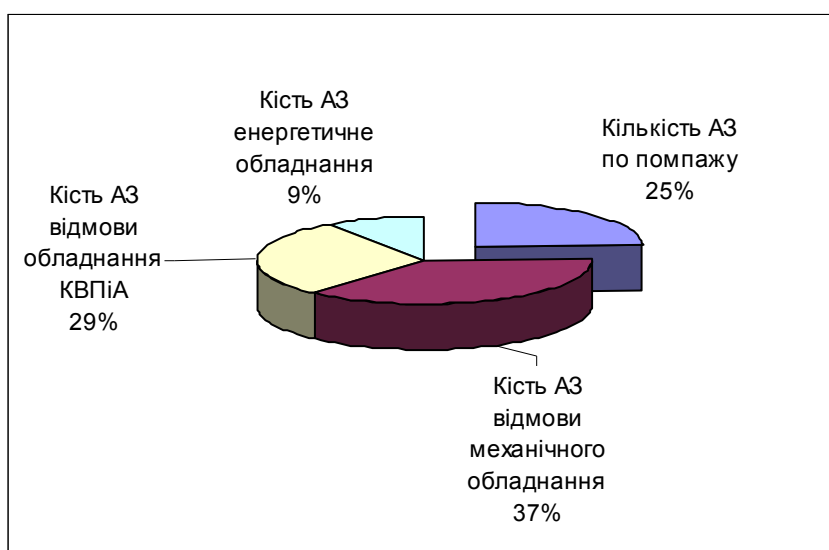


Рисунок 2 – Розподіл відмов обладнання по ДКС "Більче-Волиця" 2001-2009 рр.

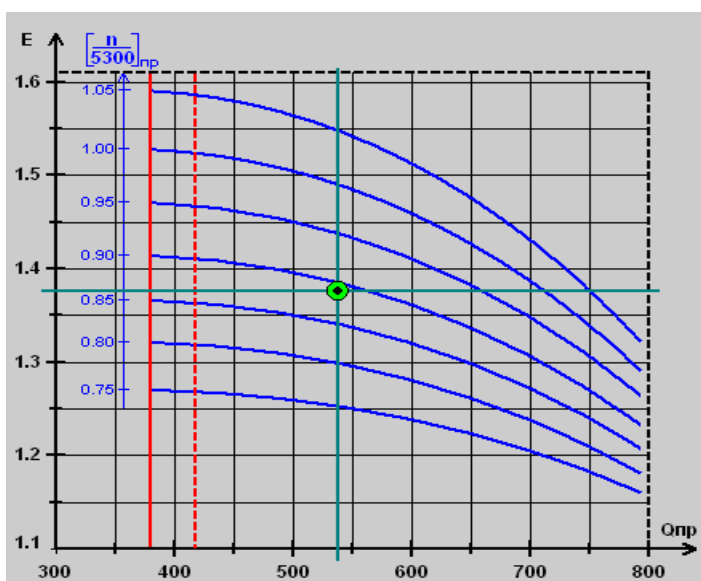


Рисунок 3 – Витратно-напірна помпажна характеристика ВН-16/56-1,4Ц



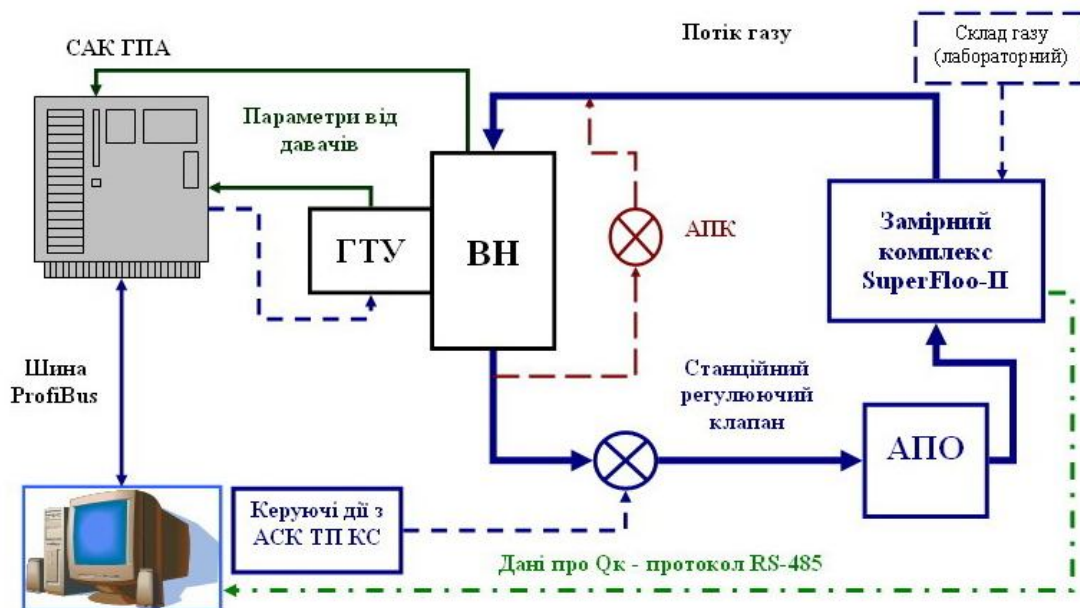


Рисунок 4 – Схема калібрування характеристики відцентрового нагнітача

Режими реальної експлуатації доводять та й з [3,4,5,6] відомо, що розрахунковий метод визначення робочої точки не є абсолютно точним в зв'язку з індивідуальною характеристикою застосовуваного для заміру перепаду тиску газу на звужуючому пристрої нагнітача (конфузора) – він вносить найбільш значну похибку в результати обчислень, що видно із формули, яка застосовується для обчислення об'ємної продуктивності:

$$Q_{об} = A \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{конф} \cdot 735.56}{\gamma}}$$

Крім цього механічне зношення лопаткового апарату нагнітального ротора відцентрового нагнітача (так званого «колеса»), його механічні пошкодження та забрудненість поверхонь робочих протічних частин можуть мати значні відхилення між положенням реальної робочої точки та розрахунковою без проведення калібрувальних процедур.

Так, наступним етапом визначення помпажної характеристики є проведення калібрувального тесту з задіянням замірної ділянки компресорної станції, або роботи одного досліджуваного ГПА в магістральний газопровід з наявною на ньому замірною ділянкою.

Типова схема калібрування характеристики відцентрового нагнітача наведена на рис. 4.

Газоперекачувальний агрегат з ГТУ – газотурбінною установкою типу НК-16СТ – та відцентровий нагнітач типу ВН-16/56-1,44 з приводом від силової турбіни СТ.

САК ГПА типу «Сіменс» виробництва ТОВ «Укргазтех» виконана на елементній базі фірми «Siemens» з використанням процесорів серій S-7-400 та S-7-300. Система автоматичного управління (САК) газоперекачувального агрегату (ГПА) ГПА Ц-16 складається із пристрою управління (шафа автоматики) і пристрою оператора (робоча станція).

Пристрій оператора (ПО) – тумба настільного типу з TFT монітором, що уможливіє повне управління ГПА з допомогою вмонтованої клавіатури і маніпулятора. Пристрій оператора виконаний на базі промислового комп'ютера Simatic Rack PC 840 з програмним забезпеченням на основі SCADA-паketу WinCC фірми Siemens.

Пристрій управління – шафа з вмонтованою Touch-панеллю оператора, яка використовується для перегляду інформації про стан ГПА, при технічному обслуговуванні та для дистанційного керування виконавчими пристроями і пуском та зупинкою ГПА без участі робочої станції. Шафа пристрою управління може виконуватися в «кліматичному варіанті» для встановлення в зовнішніх неопалюваних приміщеннях, або блок-боксах автоматики. Підтримання робочих температур в об'ємі пристрою управління, при цьому забезпечується навесним кондиціонером промислового виконання та модулем підігріву повітря. При цьому діапазон зовнішніх робочих температур для шафи САК ГПА складає від -50°C до +60°C.

Робоча станція, або ПЕОМ (ноутбук) з встановленим програмним забезпеченням (ПЗ) WinCC – Windows Control Center, інженерний програмний пакет фірми «Siemens» та ПЗ для опитування замірного комплексу «SuperFloo-II» типу «FlouWin», або «FlouHost». ПЕОМ під'єднується до САК ГПА за допомогою стандартного протоколу ProfiBus, а до витратомірного комплексу - через COM-порт, (або модем) протоколом RS-485 (RS-232).

Регулюючий клапан типу RZD «Mokveld», або «Fisher» великого діаметра ДУ 300...400 мм – керований від автоматизованої системи керування технологічним процесом компресорної станції (АСК ТП КС). Найбільш безпечним і зручним є використання регулюючого клапана, що керується від АСК ТП КС командами опе-



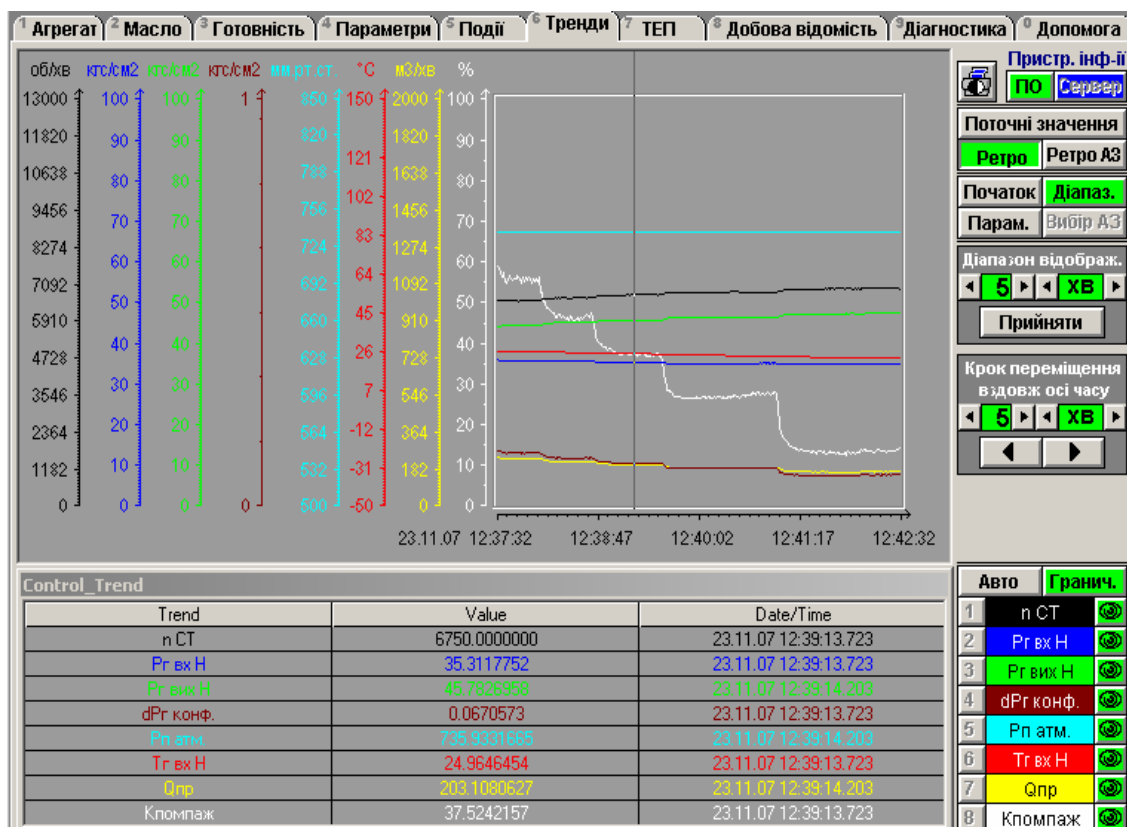


Рисунок 5 – Результати експериментального калібрування нагнітача

ратора, чи безпосередньо з ПЕОМ. Це забезпечує постійний контроль за положенням клапана та можливість точного аналогового керування його положенням.

Антипомпажний клапан (АПК) ГПА – керований від пульта оператора, або в автоматичному режимі від САК ГПА, типу RZD “Mokveld”, або “Fisher” малого діаметру ДУ 150-300мм. Система антипомпажного регулювання на час процедури калібрування повинна бути переведена в режим захисту (без регулювання): тобто забезпечити відпрацювання аварійної зупинки (АЗ) ГПА, якщо виник неусувний помпаж впродовж понад 2,5 секунди.

До схеми «станційне кільце» необхідно включити апарати повітряного охолодження (АПО), що забезпечать в процесі експерименту підтримання нормальної робочої температури газу після компримування.

Експеримент розпочинають з найбільш середньостатистичного (ненавантаженого) режиму, а далі шляхом прикриття станційного регулюючого клапана, і/або станційних режимних кранів створюють опір рухові газу вихідним трубопроводом. Також поетапно проводиться підймання та пониження обертів силової турбіни ГТУ, а, відповідно, й нагнітача.

Мета першого етапу експерименту – перевірити відповідність положення робочої точки на графічній навантажувальній характеристиці нагнітача до реальних показників шляхом звіряння на різних режимах роботи ГПА такі параметрів:

Qпр – продуктивність приведена. Вказує на (приведену до умов) витрату через нагнітач;

показник на осі X графіку повинен відповідати даним, які отримуються з витратомірної дільниці;

Nст – оберти силової турбіни повинні відповідати положенню робочої точки на номограмі, приведений до номінальних. Зв'язуються за даними від САК ГПА;

E – обчислена в САК ГПА ступінь стиснення. Повинна відповідати положенню робочої точки відносно осі У.

За умов відповідності всіх перелічених показників з реальними параметрами, які контролюються замірною дільницею та системою САК ГПА, можна переходити до зміни режиму роботи агрегату шляхом впливу на регулюючий клапан або керуванням обертів силової турбіни. Успішним можна вважати експеримент, який забезпечує максимально точно співпадіння показників перелічених параметрів трьох різних режимах:

велика витрата, низькі оберти, низький ступінь стиснення: регулюючий клапан максимально відкритий;

середня витрата, максимально можливі оберти, ступінь стиснення вищий середнього: регулюючий клапан прикривається до моменту забезпечення ступеня стиснення вищий середнього;

мінімальна витрата, високі оберти, ступінь стиснення максимальний: регулюючий клапан максимально прикривається для забезпечення мінімально можливої витрати.

На графіку (рис. 5) зображено результати експериментального калібрування нагнітача типу ВН-6,3/56-1,44 ДКС «Опарі-2», що був

проведений 23.11.07. Жовтий параметр  $Q_{пр}$  – відповідає показнику витрати через нагнітач в момент перетину його з вертикальною сірою лінією зрізу в моменті часу: 12 год 39 хв. – 203 м<sup>3</sup>/хв. Та о 12 год 41 хв – 167 м<sup>3</sup>/хв. З наведених графіків також можна відслідкувати і зміну параметра  $R_{вхН}$  від 35,3 кгс/см<sup>2</sup> до 34,8 кгс/см<sup>2</sup> і  $R_{вихН}$  з 45,7 кгс/см<sup>2</sup> до 47,32 кгс/см<sup>2</sup>, а також обертів  $N_{ст}$  з 6750 об/хв. до 6949 об/хв.

В ході експерименту велося порівняння з показниками миттєвої витрати газу через замірну дільницю Опарського ВУПЗГ і було підтверджено правильність обчислень положення робочої точки на графічній характеристиці відцентрового нагнітача.

### **Методика проведення випробувань на ГПА №20 ДКС Більче-Волиця**

Об'єктом випробувань є підсистема антипомпажного захисту та регулювання САК ГПА для управління швидкодіючим антипомпажним клапаном “Моквелд”, який встановлений на вихідному колекторі (дублюючого крану №6) об'єкту нагнітача та призначений для антипомпажного захисту і регулювання режимів роботи відцентрового нагнітача з газотурбінним приводом ГПА Ц-16. З наближенням до помпажних явищ (розглядається ГПА Ц-16 ст.№20 ДКС Б.-Волиця), антипомпажний клапан забезпечує рециркуляцію газу з виходу на вхід нагнітача і тим самим забезпечує розвантаження компресора та переведення його в зону стабільної роботи.

**Мета випробувань.** В ході випробувань відбувається перевірка системи антипомпажного регулювання нагнітача, як підсистеми САК ГПА в комплексній взаємодії з всіма складовими (давачевою апаратурою, системою керування подавання паливного газу, антипомпажним швидкодіючим клапаном фірми “Моквелд”, програмним забезпеченням та технічною частиною системи).

**Місце проведення випробувань.** Випробування роботи антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача проводиться на ГПА Ц-16 ст.№20 ДКС “Більче-Волиця” Стрийського ВУПЗГ УМГ “Львівтрансгаз”.

Підготовка до проведення випробувань. Ознайомити з програмою випробувань всіх осіб, що беруть участь в її проведенні. Провести позачерговий інструктаж оперативного персоналу та інших учасників, відібраних для проведення експерименту згідно з існуючими правилами з ОПІТБ.

Після узгодження з диспетчерською службою виконати нормальну зупинку ГПА та, за необхідності, всіх агрегатів компресорного цеху, задіяних в технологічній схемі закачування/відбору газу.

Провести позачергову перевірку працездатності систем захисту ГПА та виконавчих механізмів агрегату.

Випробування провести в три етапи:

етап перший – на зупиненому агрегаті, імітуючи сигнал помпажу на програмному рівні;

етап другий – на агрегаті в робочому стані, створюючи реальну зону наближення до помпажу із застосуванням станційних кранів №№ 94,71,55, та режимних кранів групи (6-2, 6-2'М, 6-2р).

етап третій - на агрегаті у робочому стані, спостерігаючи за відпрацюванням агрегатного АПК при закритті крану №2 ГПА.

З метою уточнення результатів та усунення випадкових похибок випробування на кожному етапі проводити тричі.

Встановити і забезпечити оптимальну необхідність кількість осіб.

Розташування оперативного персоналу:

пост № 1 – у головному щиті управління №1 ДКС; відповідальний керівник випробувань - начальник КС;

пост № 2 - місце, в якому проводиться зміна режиму роботи нагнітача (режимні крани групи 6, агрегатний кран №2 та АПК, безпосередньо на ГПА ст.№20) - відповідальний змінний технолог КС;

Після завершення випробувань агрегат, за потреби, зупинити нормальною зупинкою і відновити технологічну схему закачування/відбору газу.

Випробування слід провести протягом однієї робочої зміни. Після закінчення випробувань скласти акт і протокол випробувань. В акті зафіксувати факт проведення випробувань: мета, місце, умови, параметри нагнітача при випробуваннях, варіанти випробувань, висновки про працездатність системи і склад осіб, які беруть участь в проведенні випробувань. В протоколі відобразити хід проведення експерименту та подати висновки. Програму випробувань складено з врахуванням “Технічних вимог до систем антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів” ДК “Укртрансгаз”.

IV. Висновки. Отже, при проведенні натурних випробувань на ГПА ст.№20 на ДКС «Більче-Волиця» з метою зняття помпажної характеристики в автоматичному режимі отримано наступні результати:

1. На базі синтезованих схемотехнічних рішень розроблено і виготовлено систему автоматичного зняття помпажної характеристики відцентрових нагнітачів, яка може бути використана для проведення досліджень різного типу відцентрових нагнітачів з газотурбінними приводами.

2. Наведено скорочений опис розроблених алгоритмів, опис ходу експерименту, що дозволяє оперативному персоналу отримувати інформацію про стан і хід проведення досліджень.

3. Розроблено методику промислових випробувань системи автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом з двигуном НК-16-СТ в умовах ДКС ПСГ «Більче-Волиця», яка була покладена в основу випробувань запропонованої системи автоматичного зняття помпажної характеристики відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції.

4. Проведено промислові випробування виготовленої системи автоматичного зняття помпажної характеристики відцентрового нагнітача, які підтвердили високі експлуатаційні показники розробленого методу.

5. Випробування розробленого методу і системи зняття помпажної характеристики в експлуатаційних умовах на базі ГПА № 20 ДКС ПСГ «Більче-Волиця» підтвердили достовірність отриманих результатів. Ефект від реалізації розробленого методу проявляється в підвищенні точності системи антипомпажного регулювання, розширення можливих границь режимів експлуатації відцентрових нагнітачів і підвищення надійності роботи ДКС ПСГ загалом.

### **Література**

1 Мамонов О.І. Впровадження енергозберігаючих технологій при протипомпажному керуванні нагнітачами / О.І.Мамонов, В.О.Таргонський, В.В.Ніщета // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2006. – №1(37). – С.6-7.

2 Система автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом з двигуном НК-16-СТ (САК ГПА) (і адаптацією до двигуна Д336 САК ГПА Ц 6,3). Програма впровадження антипомпажного регулювання. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2006. – 10 с.

3 Продовиков С. Опыт автоматизации сложных промышленных объектов на примере газокomppressorных станций / С. Продовиков, А.Макаров, В.Бунин, А.Черников // Системная интеграция. Нефтегазовая промышленность. – 1999. – №2. – С.16-25.

4 Автоматизация газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом / [К.А.Тельнов, А.А.Файнштейн, С.З.Шабанок и др.]. – М.: Недра, 1983. – 265 с.

5 Козакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах / В.В. Козакевич. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с.

6 Измайлов Р.А. Нестационарные процессы в центробежных компрессорах / Р.А.Измайлов, К.П.Селезнев // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1995. – №11. – С.20-24.

7 Семенцов Г.Н. Критерий нестационарности руху газу в газотранспортній системі / Г.Н.Семенцов, С.Г.Гіренко // «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki - 2007»: materialy II miezd. nauk.-prakt.konf. – Perzemysl: Nauka i studia. 2007. – Str.19-21.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
12.05.11*

*Рекомендована до друку професором  
Г. Н. Семенцовим*