

УДК 622.6924

І. Ч. ЛЕЩЕНКО (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

КОМПЛЕКС ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПАСПОРТИЗАЦІЇ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Описано програмний комплекс параметричної діагностики газотурбінних установок та відцентрових нагнітачів компресорних станцій. Наведено результати його застосування при проведенні паспортизації газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій Калач і Сизрань ТОВ «Волгоградтрансгаз».

Для системи магістрального транспортування газу України особливе значення має задача підтримки її оптимальної продуктивності з метою забезпечення надійної подачі газу як на внутрішні ринки, так і на ринки Європи. Одним із шляхів вирішення цього завдання є створення умов для безперебійного функціонування газотранспортної системи (ГТС) за рахунок проведення низки технологічних заходів: діагностичного обстеження компресорних станцій (КС); проведення реконструкції морально та фізично застарілих газоперекачувальних агрегатів (ГПА); впровадження сучасних систем автоматичного контролю та управління об'єктами газотранспортної системи.

Підтримка оптимальної продуктивності української газотранспортної системи набуває особливої важливості за умови старіння газопроводів країни, понад 50% яких експлуатуються з 60-70-х років і є фізично та морально застарілими. З цієї причини збільшується значення оперативної ресурсної діагностики основного обладнання компресорних станцій, яка дозволяє оцінити технічний стан газотурбінних установок (ГТУ) та відцентрових нагнітачів (ВЦН) газоперекачувальних агрегатів, урахування якого, своєї черги, дає змогу скоротити витрати газу на власні потреби, зменшити експлуатаційні витрати на компресорних станціях, більш достовірно прогнозувати розвиток системи магістрального транспорту газу.

З іншого боку, в комплексі основних заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів суттєвою є роль оптимізаційних програм – оптимізація потоків газу, оптимізація технологічних режимів роботи газотранспортної системи, підвищення ефективності технологічного устаткування. Але практична реалізація оптимізаційних рішень можлива за умови достовірних вихідних даних, у тому числі про фактичні характеристики й технічний стан газоперекачувального устаткування. Однак користувач не завжди має у своєму розпорядженні ці дані, бо для їх одержання не-

обхідна наявність широкої номенклатури датчиків, комплексів для виміру розподілу витрат газу за цехами КС, приладів для контролю якості газу, що транспортується.

На сьогодні на підприємствах магістрального транспорту газу впроваджуються різні програмні комплекси, створені спеціалістами України, Росії, Німеччини, Данії тощо. При впровадженні, наприклад, широковідомого в галузі програмного продукту німецько-чеського виробництва «SIMONE», чітко виявились проблеми його застосування в умовах газопроводів України та Росії, а також фактори, які суттєво впливають на якість розрахунків за допомоги цього програмного продукту [1]:

– точність і одночасність проведення вимірів тиску – візуальний контроль за показаннями манометрів є недостатнім (час зупинок ГПА, перемикання запірної арматури на лінійній частині, зміна кількості газу, що проходить через вузли вимірювання, повинні вноситися в систему частіше, ніж раз на годину, але за сучасного стану телемеханізації ГТС це досить складно);

– наявні паспортні характеристики ГПА є неприйнятними при проведенні розрахунків режимів, але «SIMONE» не коригує характеристики, для цього необхідно залучати інші програмні засоби;

– «SIMONE» не обраховує коефіцієнти технічного стану ГПА, для цього необхідні інші програми.

Отже, досвід впровадження імпортованих програмних продуктів для розрахунку режимів ГТС свідчить, що в умовах газопроводів України та Росії на долю кінцевого користувача припадає необхідність обчислення іншими засобами коефіцієнтів технічного стану газоперекачувальних агрегатів, від яких значною мірою залежить точність розрахунку режиму роботи газопроводу в цілому. Зважаючи на це, в галузі існує гостра потреба в таких програмно-інформаційних засобах, які б дозволяли в будь-який момент оперативно, в

режимі реального часу, провести оцінку технічного стану відцентрового нагнітача та газотурбінної установки газоперекачувального агрегату, отримати реальні характеристики нагнітачів, які в процесі експлуатації суттєво відхиляються від паспортних, оцінити фактичне завантаження кожного агрегату, використовуючи при цьому, що дуже важливо, лише штатні заміри режимних параметрів, не вимагаючи виведення агрегату з роботи чи переведення його в спеціальний режим.

В Інституті загальної енергетики НАН України спільно з Інженерно-технічним центром «Оргтехдіагностика» ДАТ «Оргенергогаз» ВАТ «Газпром» (м. Москва) за пропозиціями експлуатаційного персоналу газотранспортних підприємств було створено програмно-інформаційний комплекс для проведення параметричної діагностики газотурбінних установок та відцентрових нагнітачів компресорної станції у процесі їх експлуатації. Він базується на методиках та алгоритмах оперативного діагностування основного обладнання КС, які розроблялись і вдосконалювались протягом кількох років [2-4]. Комплекс розраховано на використання мінімального складу вимірюваних параметрів зі штатного набору.

На газотранспортних підприємствах України та Росії експлуатуються газотурбінні установки близько 20 типів, методики розрахунку технічного стану яких відрізняються за базовими та керуючими параметрами і функціональними залежностями між ними, тому для різних типів газотурбінних установок необхідно було створити окремі алгоритми та програми. Відповідно до пропозицій експлуатаційних організацій було розроблено програми для експрес-діагностування 14 типів ГТУ, що найбільш широко експлуатуються в газотранспортних підприємствах:

- ГТУ з однокаскадним повітряним компресором ГТ-750-6, ГТ-6-750, ГТ-700-5, ГТК-10-4, ГТК-10-М;
- ГТУ з однокаскадним повітряним компресором та регульованим сопловим апаратом турбіни низького тиску ГТК-10І, ГТК-10ІР, ГТК-25І;
- ГПА-Ц-6,3 із двигунами НК-12СТ серії 02 та НК-14СТ;
- ГТУ із двокаскадним повітряним компресором ГПА-Ц-16 із двигуном НК-14СТ та ГПА-Ц-16С із двигуном ДГ-90;
- ГТУ із двокаскадним повітряним компресором ГПУ-10;
- ГПУ-12П («Урал-12»).

Усі перелічені вище типи газотурбінних установок включено до бази даних комплексу пара-

метричної діагностики, який надає можливість діагностування будь-якого з цих типів ГТУ без перепрограмування системи.

Комплекс параметричної діагностики дозволяє в умовах експлуатації оперативно визначити фактичну потужність, коефіцієнт технічного стану за потужністю, газодинамічні параметри, що відповідають режиму, та наявну потужність газотурбінних установок. Дані про значення наявної потужності надають користувачеві інформацію про те, в яких межах для даного режиму можна змінювати управляючий параметр, не перевантажуючи агрегат.

Проведення експрес-діагностики відцентрового нагнітача виконується комплексом параметричної діагностики на базі фактичного режиму роботи агрегату (режимні параметри) та розрахованої фактичної потужності приводу і забезпечує визначення індивідуального технічного стану ВЦН через коефіцієнти за політропним напором і політропним ККД. Комплекс, окрім того, передбачає коректування паспортних газодинамічних характеристик ВЦН, а також порівняльну графічну ідентифікацію паспортних і фактичних характеристик.

Комплекс параметричної діагностики надає користувачеві можливість працювати у двох режимах – автоматизованому і «ручному».

В автоматизованому режимі модуль без втручання користувача послідовно виконує такі функції:

- перевірка наявності «застарілих» даних, тобто даних по режимах, знятих понад рік тому, і їхнє автоматичне видалення. Період, за який у базі даних комплексу зберігаються режими та результати розрахунків, задається на етапі налаштування комплексу на умови конкретного користувача;
- прийом вхідних даних із файлів обумовленого формату, що доставляються у вигляді повідомлень електронної пошти. Адреси поштових серверів теж задаються на етапі налаштування комплексу;
- розрахунок параметричних даних. При виконанні розрахунку на екрані автоматично для кожного цеху з'являється вікно для уточнення значень густини газу за повітрям і теплоти згоряння газу. Якщо протягом п'яти хвилин користувач не працює з цим вікном, воно автоматично закривається, і розрахунок виконується зі значеннями цих параметрів за замовчуванням;
- підготовка звітів для кожного агрегату за формами Формуляра паспорта технічного стану ГПА;

– збереження результатів розрахунку в базі даних із можливістю подальшого їх перегляду та коректування;

– відображення в графічному вигляді паспортних і фактичних характеристик;

– відображення в графічному вигляді змін у часі всіх коефіцієнтів технічного стану ГТУ і ВЦН.

При роботі модуля параметричної діагностики в «ручному» режимі користувач може виконати кожну з перелічених вище функцій за власним бажанням. У цьому режимі користувач має можливість сформулювати потрібний звіт за формами Формуляра чи зведений за потрібним йому параметром.

Програмно-інформаційний комплекс параметричної діагностики ГТУ та ВЦН було передано для апробації в Інженерно-технічний центр «Оргтехдіагностика» ДАТ «Оргенергогаз» ВАТ «Газпром» (м. Москва), де за його допомогою виконувались розрахунки під час проведення паспортизації обладнання на компресорних станціях РАТ «Газпром».

На агрегаті ГТК-10М (станційний №4), який встановлено на КС-3 Калачевського лінійного виробничого об'єднання магістрального газопроводу ТОВ «Волгоградтрансгаз», було проведено вимірювання потужності газотурбінної установки за допомогою безконтактного вимірювача моменту, що крутить, і потужності М-106М (ВКМ) розробки «ФПК Космос-Нефть-Газ». Одночасно значення потужності було розраховано програмним комплексом параметричної діагностики.

Агрегат ГТК-10М мав наробіток до модернізації в «Рекон» у 1999 році 95596 годин. Після модернізації, до першого ремонту наробіток становив 10645 годин, сумарний наробіток на момент проведення іспитів – 23956 годин.

Адекватність розрахунку оцінок технічного стану компресорного обладнання значною мірою залежить від точності вимірів, тому суттєвими є вимоги до класу точності вимірювальних приладів. Вимірювання значень тиску за осьовим компресором (ОК), на вході та виході ВЦН виконувалось зразковими манометрами класу 04. Вимірювання температури повітря на вході ОК, газу на вході та виході ВЦН проводилось термометрами ТЦМ 9210 М4. Вимірювання температури продуктів згоряння за турбіною низького тиску (ТНТ) і частоти обертання валів високого тиску (ВТ) та низького тиску (НТ) виконувалось штатною системою МСКУ 4510СС.

Зіставлення отриманих потужностей наведено в табл. 1. Як видно з таблиці, різниця між потужностями, отриманими за вимірами та розрахунками програмним комплексом параметричної діагностики є невеликою та не перевищує 2%. Такі значення похибок обумовлюються методикою розрахунку [2] і є прийнятними для даного типу задач.

Таблиця 1. Значення потужності агрегату

ГТК-10М («Рекон»), отримані за допомогою вимірювача потужності М-106М ФПК «Космос-Нефть-Газ» та розраховані комплексом параметричної діагностики на КС Калач, агрегат №4

№ режиму	Час проведення виміру	Потужність, яку заміряно М-106М, кВт	Потужність, яку розраховано комплексом параметричної діагностики, кВт	Похибка, %
1	9.15	7082	7075,9	-0,09
2	11.00	7750	7832,8	1,07
3	12.05	8300	8435,2	1,63
4	12.55	6985	6937,1	-0,69

Значення вхідних параметрів для ГТУ та ВЦН наведено в табл. 2. Значення вихідних показників, розрахованих за допомогою комплексу, наведено в табл. 3 та 4.

Технічний стан проточної частини ГТУ, який характеризується коефіцієнтом технічного стану за потужністю, було оцінено на рівні 0.81 (середня оцінка), що, згідно з «Регламентом діагностичного обслуговування газоперекачувальних агрегатів», розробленим для підприємств «Газпрому» Росії, відповідає стану «ПРИПУСТИМИЙ». Такий технічний стан є ймовірним для ГТУ, який відпрацював після ремонту 13311 годин.

Порівнюючи значення коефіцієнта технічного стану ГТУ за потужністю для кожного з чотирьох режимів (табл. 3), бачимо, що розкид значень не перевищує 4%. Така точність є прийнятною для оперативної оцінки технічного стану обладнання КС у процесі експлуатації та задач розрахунку режимів магістральних газопроводів.

При діагностуванні ВЦН (тип 370-18-1) середнє значення коефіцієнта технічного стану за політропним ККД, який характеризує технічний стан його проточної частини, оцінено на рівні 0.9995, що відповідає стану «СПРАВНИЙ». Порівнюючи значення коефіцієнтів технічного стану ВЦН за політропним напором та за політропним ККД для кожного з чотирьох режимів (табл. 4), бачимо, що розкид значень не перевищує 1,5%.

На рис. 1 (див. стор. 56) наведено паспортні й фактичні характеристики ВЦН. Оскільки політропний ККД відцентрового нагнітача

Таблиця 2. Вхідні значення параметрів ГПА №4

№ п/п	Параметр	№ режиму			
		1	2	3	4
1	Атмосферний тиск, мм рт. ст.	745	745	745	745
2	Температура повітря на вході в ОК, °С	-4,7	-4,5	-3,8	-3,3
3	Тиск за ОК (надмірний), МПа	0,2647	0,2793	0,2907	0,2616
4	Частота обертання ротора ВТ, об./хв.	4770	4865	4953	4760
5	Частота обертання ротора СТ, об./хв.	4450	4570	4670	4450
6	Температура газу за ТНТ, °С	477	498	521	478
7	Тиск на вході ВЦН (надмірний), МПа	5,5389	5,5269	5,5151	5,5436
8	Тиск на виході ВЦН (надмірний), МПа	6,5504	6,5782	6,5822	6,5623
9	Температура газу на вході ВЦН, °С	26,8	26,7	26,7	26,7
10	Температура газу на виході ВЦН, °С	40,9	41,3	41,6	41,0

Таблиця 3. Вихідні показники газотурбінної установки ГТК-10М «Рекон»

№ режиму	Р за ОК факт. надм., кг/см ²	Р за ОК розрах. надм., кг/см ²	Потужність факт., кВт	ККД ефективний	Витрати палива газу, нм ³ /ч	Потужність наявна, кВт	К-нт завантаження	КТС за потужністю	T _{ТНТ} , °С	T _{ТНТ} для наявн. потужн., град. С	T _{ТВТ} розрах., °С	T _{ТВТ} для наявн. потужн., °С	Р за ОК для наявн. потужн., кг/см ²
1	2,6993	2,6993	7075,9	0,2997	2519,8	10456,7	0,6767	0,8281	477,0	541,3	689,0	810,0	3,3656
2	2,8478	2,8478	7832,8	0,3073	2720,5	10438,3	0,7504	0,8019	498,0	541,5	724,8	810,0	3,3613
3	2,9641	2,9641	8435,2	0,3125	2880,7	10373,9	0,8131	0,7691	521,0	542,1	761,5	810,0	3,3462
4	2,6671	2,6671	6937,1	0,2980	2484,2	10327,9	0,6717	0,8285	478,0	542,5	688,6	810,0	3,3354

Таблиця 4. Вихідні показники відцентрового нагнітача 370-18-1

№ режиму	Витрати об'ємні, м ³ /хв.	Витрати зведені, м ³ /хв.	Витрати, комерційні, млн м ³ /доб.	Ступінь стиснення	ККД пол.	Оберти зведені	КТС за політропом, напором	КТС за політропом, ККД	Коефіцієнт режиму	Запас за pompaжем, %
1	374,3	403,7	32,39	1,1794	0,8507	0,8920	1,0004	1,0006	1,0882	68,41
2	401,3	421,5	34,66	1,1868	0,8541	0,9161	1,0009	1,0058	1,0870	75,88
3	423,6	435,4	36,51	1,1901	0,8491	0,9361	1,0005	1,0007	1,0861	81,86
4	360,2	388,5	31,21	1,1805	0,8411	0,8922	1,0008	0,9908	1,0866	62,15

близький до одиниці, фактичні характеристики ступеня стиснення, зведеної потужності та політропного ККД майже співпадають із паспортними.

Цікаві результати отримано при проведенні паспортизації обладнання на компресорній станції Сизрань ТОВ «Волгоградтрансгаз». У табл. 5 наведено зіставлення значень потужності агрегату ГТК-10-4, які отримано на КС Сизрань за замірами приладом ВКМ та обчислено за двома

методиками: за потужносними параметрами й комплексом параметричної діагностики. Найбільше значення похибки 3,21% для режиму 1 пов'язано з тим, що на цьому режимі агрегат працював із завантаженням 47% від номінального, тобто за межами рекомендованих значень завантаження ГТУ 60-120%. В цьому ж діапазоні завантаження, як видно з табл. 5, похибка метода не перевищує навіть 2%. Похибки розрахунків за методикою за потужносними параметрами є

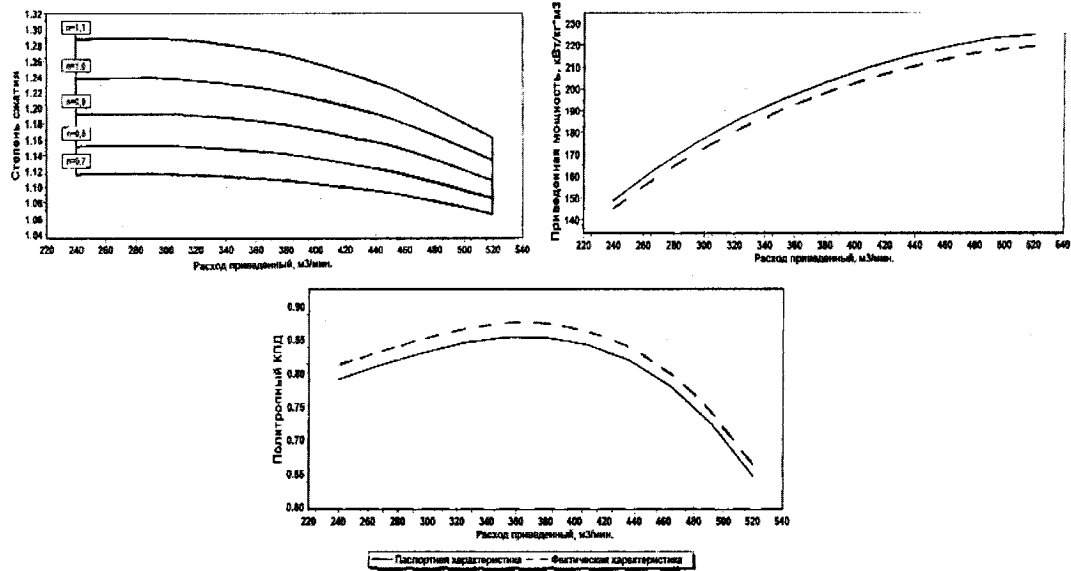


Рис. 1. Паспортні та фактичні характеристики ВЦН типу 370-18-1

Таблиця 5. Значення потужності агрегату ГТК-10-4 КС Сизрань

Номер режиму	Оберти силової турбіни, об./хв.	Потужність заміряна, кВт	Потужність, розрахована за методикою за потужносними параметрами, кВт	Похибка, %	Потужність, розрахована комплексом параметричної діагностики, кВт	Похибка, %
1	4160	4930	4972,7	0,87	4776,6	-3,21
2	4300	5403	5353,2	-0,92	5337,5	-1,23
3	4450	6526	6336,8	-2,90	6518,8	-0,11
4	4600	7609	7386,4	-2,93	7601,9	-0,09
5	4400	6086	6048,6	-0,61	6096,9	0,18
6	4300	5405	5406,9	0,04	5391,6	-0,25

більшими – 2,9-2,93% саме в рекомендованому діапазоні завантажень агрегату.

Результати використання програмного комплексу параметричної діагностики показують, що він дає змогу виконати оперативну діагностику га-

зотурбінних установок та відцентрових нагнітачів цехів компресорних станцій, розрахувати їх коефіцієнти технічного стану з прийнятною для технічних задач точністю, оперуючи невеликою кількістю штатних режимних параметрів.

1. Черкасский В.Н., Френев А.В., Волченко А.В., Лотова О.В. Опыт внедрения системы моделирования и оптимизации режимов транспорта газа «SIMONE» // Нефтегазовые технологии. – 2002. – №4. – С. 18-20.

2. Вертепов А.Г. Экспресс-метод оценки загрузки и технического состояния ГТУ. Сб. Совершенствование машин и агрегатов газовой промышленности. – М.: ВНИИГАЗ, 1994. – С. 44-50.

3. Линецкий И.К., Леценко И.Ч., Вертепов А.Г. Получение и учет фактических характеристик оборудования при расчетах режимов компрессорных станций магистральных газопроводов // Проблемы общей энергетики. – 1999. – №1. – С. 40-47.

4. Линецкий И.К., Щербина Е.В., Леценко И.Ч., Вертепов А.Г. Оперативная диагностика оборудования в системах магистрального транспорта газа // Проблемы общей энергетики. – 2001. – №4. – С. 49-53.