

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГТД ГТН-6 ТА РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НАГНІТАЧА Н-6-56-2 ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ ПК ТА ВИМІРЮВАЧА ВИТРАЧЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ ГТД ТОРСІЙНОГО ТИПУ

О. Д. Іванов

УМГ «Донбастрансгаз», Первомайське ЛВУМГ, КС-12/2 «Борова»,
e-mail: oleg_dm_i@rambler.ru

Проаналізовано можливість застосування прикладної програми, а також використання вимірювача використаної потужності для вимірювання непрямих параметрів ГПА (потужність, ККД, продуктивність тощо). Точність визначення параметрів ГПА є вкрай важливим як для оптимізації роботи ГПА, так і при виведенні ГПА у відновлювальний ремонт «за технічним станом», що впливає на економічну ефективність роботи компресорних станцій. Використання запропонованої автором прикладної програми і вимірювача потужності забезпечить: накопичення досить об'ємної прогнозованої інформації про технічний стан ГПА, швидкий аналіз ефективності роботи ГПА на різних режимах, оптимізацію роботи працюючих ГПА, а також зменшить витрати газу на власні потреби, кошти на проведення ремонту, відновлення та обслуговування ГПА.

Ключові слова: компресорна станція, газоперекачувальний агрегат, програма для визначення непрямих параметрів, газодинамічна характеристика, вимірювач потужності торсійного типу, первинний перетворювач, мікроконтроллер, імітаційний аналіз міцності.

Проанализирована возможность использования прикладной программы, а также измерителя использованной мощности для измерения непрямых параметров ГПА (мощность, КПД, производительность и т.д.). Точность определения параметров ГПА имеет особое значение как для оптимизации работы ГПА, так и при выводе ГПА в восстановительный ремонт «по техническому состоянию», что влияет на экономическую эффективность работы компрессорных станций. Предлагаемая автором прикладная программа и измеритель мощности обеспечивают: накопление достаточно объемной прогнозированной информации о техническом состоянии ГПА, быстрый анализ эффективности работы ГПА на разных режимах, оптимизацию работы работающих ГПА и, как следствие, уменьшение расходов газа на собственные нужды и экономию средств на ремонт, восстановление и обслуживание ГПА.

Ключевые слова: Компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, программа для определения косвенных параметров, газодинамическая характеристика, измеритель мощности торсионного типа, первичный преобразователь, микроконтроллер, имитационный анализ прочности

This paper contains information about using the application, as well as power meter for determination in direct parameters of GTA (power, efficiency, productivity ...). The accuracy of determining the parameters of GTA (gas-transfer aggregate) has a special meaning, as in a GTA optimization and for change-over GTA in complete renovation, thereby affecting the economic efficiency of the compressor stations. The proposed application and the power meter both provide rather accumulation rather massive forecasting information about technical state of GTA, rapid analysis of the effectiveness of GTA in different modes, optimization working of GTA. As a consequence, there are provided reduction of gas consumption for GTA needs, reduction cost of GTA maintenance, reconstruction and attendance.

Keywords: Compressor station, gas-transfer aggregate, program to determine the parameters of the indirect, gas-dynamic characteristics of, torsional type meter of supplied power, primary converter, microcontroller, analysis of strength

Вступ

В останні роки ситуація в газовій галузі характеризується тим, що поряд з відсутністю необхідних інвестицій для проведення реконструкції та технічного переозброєння є фізичне старіння устаткування, що експлуатується, зокрема ГПА. У такій обстановці перспектива підвищення надійності роботи ГТС України вельми скрутна без впровадження прогресивних методів і засобів підтримки ГПА в справному стані з нормативними значеннями техніко-

економічних показників (потужність, ККД, надійність). Це може бути досягнуто шляхом впровадження енергозберігаючих технологій при експлуатації ГПА і станційних систем їх життєзабезпечення (якісна підготовка технологічного, паливного, пускового, імпульсного газу, апаратів повітряного охолодження (АВО) газу і масла, підготовка повітря і т.п.) з урахуванням фактичного технічного стану устаткування компресорних станцій.

Зазначені заходи доцільно реалізувати в рамках впровадження систем автоматичного управління (САУ) ГПА, що включають автоматизовані діагностичні програми для оптимізації режимів роботи, а також системи виведення ГПА в відновлювальний ремонт «за технічним станом». При цьому, необхідна оперативна достовірна інформація про фактичні величини поточної потужності, коефіцієнта корисної дії (ККД) і т.д.

Управління технологічними режимами роботи ГПА по їх індивідуальним фактичним характеристикам, які визначаються шляхом діагностування, забезпечує зниження витрат газу на власні потреби на 8-10%, а вивід ГПА в ремонт «за технічним станом» - зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт до 40% з продовженням ресурсу експлуатації до 30% [1].

Отже для оптимізації режиму роботи ГПА, забезпечення заданого об'єму перекачки газу мінімальною кількістю ГПА (забезпечення їх повного завантаження та високого КПД), безперервного діагностичного обслуговування ГПА вирішальне значення одержують зусилля, направлені на розробку надійних, достовірних, швидких засобів визначення та аналізу основних технологічних, газодинамічних, вібраційних та інших параметрів ГПА.

1. Програма ПК для визначення потужності ГТД ГТН-6 та газодинамічних характеристик нагнітача Н-6-56-2

Програма для визначення потужності, КПД ГТД ГТН-6 та газодинамічних характеристик нагнітача Н-6-56-2 розроблена в середовищі Visual Basic (що дає можливість після створення виконуваного .exe файлу запустити її на кожному ПК) на базі алгоритмів розрахунку газодинамічних характеристик [2] заводу-виробника та виробничого об'єднання «Союзернергогаз». Програма забезпечує визначення наступних непрямих розрахункових параметрів:

- Ступінь стиснення нагнітача – Π_n
- Віддаленість нагнітача від зони помпажу – Q_{np}/Q_{np}^{min}
- Комерційний розхід газу через нагнітач – Q_k
- ККД нагнітача – $\eta_{пол}$
- ККД газотурбінного двигуна (ГТД) – $\eta_{ГТД}$
- Потужність ГТД – N

Користувач вибирає тип розрахунку шляхом натискання однієї з кнопок вибору у вікні програми (рисунок 1), за умовчанням – це «Загальний розрахунок».

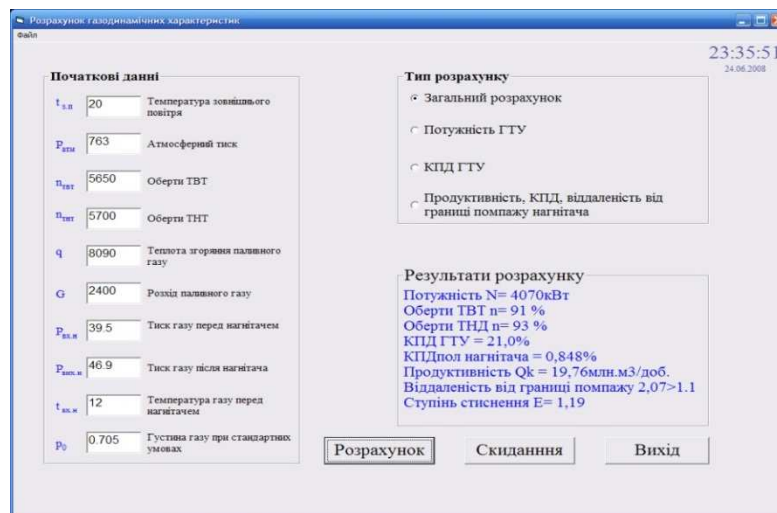


Рисунок 1 – Інтерфейс програми

В залежності від типу розрахунку будуть блокуватися (або навпаки розблоковуватися) деякі текстові блоки та інформаційні мітки через потребу в них чи ні. Після цього користувач вводить

початкові дані в поля текстових блоків. В полях вводу можливо задати лише цифри та лише одну крапку в кожному текстовому блоці. Внесення інших символів, знаків, блокується щоб не викликати похибки розрахунку. Якщо данні не внесені в активні поля текстових блоків, програма не виконує розрахунок – з'являється повідомлення в діалоговому віконці «Увага, Введіть дані в поле вводу». Курсор автоматично переміщується на незаповнене поле вводу. Так до того часу, доки всі активні поля не будуть заповнені. Після заповнення текстових блоків потрібно натиснути кнопку «Розрахунок». Програма проводить розрахунок, результат виводить в поле виводу результату. Якщо є потреба, можливо обнулити всі данні за допомогою кнопки «Скидання» та почати розрахунок спочатку.

При використанні АЦП та штатних первинних перетворювачів можлива повністю автоматична робота програми, з задаваною частотою оновлення інформації.

2. Вимірювач витраченої потужності ГПА ГТН-6 торсійного типу

Вимірювач витраченої потужності ГТД працює за принципом виміру частоти обертання і кута закручування гнучкого привідного вала. Вимірювач проводить індикацію двох вірних розрядів процента витраченої потужності один раз в секунду і має можливість передавати виміряні значення затраченої потужності з похибкою не більшою 0.25% через послідовний канал в керуючу ЕВМ.

2.1 Загальний опис конструкції вимірювача потужності

Вимірювач складається з первинного перетворювача – гнучкого та жорсткого валу з вимірюючими зубчатими дисками, двох другорядних перетворювачів – магнітоелектричних інтегральних датчиків Холла, однокристалного мікроконтролера PIC16F84 фірми MicroChip і двухрозрядного семисегментного індикатора.

2.2 Принцип дії

Принцип дії вимірювача полягає в наступному. Потужність приводного ГТД ГТН-6 передається на нагнітач Н-6-56-2 через гнучку ресору (виконує функцію промвала), кут закручування якої змінюється пропорційно обертаючому моменту. На кінцях внутрішнього гнучкого та зовнішнього жорстких валів два однакові вимірюючі зубчаті диски. При скручуванні ресори зубці цих дисків зміщуються один відносно одного в окружному напрямку. Поблизу зубців кожного диску розміщується магнітоелектричний датчик так, щоб при обертанні диска він вмикався при проходженні над його робочою частиною зубця і вимикався при проходженні впадини. При скручуванні обертового вала змінюються проміжки часу між відкриттям датчиків. При роботі установки мікроконтролер вимірює час одного оберту вала (з використанням сигналу одного з датчиків Холла) та час між включенням датчиків, знаходить середні результати, обчислює потужність та виводить її значення в процентах від максимальної на семисегментні цифрові індикатори один раз в секунду. Функціональна схема вимірювача потужності подана на рисунку 2. Програмно в реєстрах загального користування контролера організуються два лічильника. Один рахує одиничний стан виходу датчика Холла, вимірюючого частоту обертання, а другий, кількість циклів читання інформації датчиків, коли їх виходи мають різні сигнали. Одночасно внутрішній лічильник-таймер мікроконтролера відраховує число обертів вала, достатньої для статистичної обробки сигналу з метою одержання заданої точності вимірювання.

2.3 Первинний перетворювач

Первинний перетворювач складається з: торсійний вал, зовнішній жорсткий вал, ущільнюючі масляні кільця зовнішнього вала, торцевий фіксуєчий диск, фіксатори гвинтів, гвинти. Збірний ескіз первинного перетворювача наведений на рисунку 3. Потужність приводного ГТД ГТН-6 передається на нагнітач Н-6-56-2 через напівмуфту вихідного вала ГТД, далі на фланець жорсткого вала первинного перетворювача, далі через евольвентні шліци жорсткого вала на гнучку ресору (запресована евольвентними шліцами з натягом), яка в свою чергу передає крутний момент через фланець з правої сторони на напівмуфту і далі на вал нагнітача. Внутрішні прямобічні шліци на валу та зовнішні на ресорі з ковзкою посадкою по внутрішньому діаметру дозволяють валам зміщуватися один відносно одного при скручуванні гнучкої частини ресори (по боковим поверхням шліци мають зазор, який дозволяє валам провертатися один відносно одного на 2°). При перевищенні максимального обертаючого моменту чи при руйнуванні гнучкої ресори за інших умов ці шліци починають передавати обертаючий момент, жорсткий вал в цьому випадку виступає в ролі привідного елемента конструкції, а також заважає розлітання уламків

ресори. Наявність цього вала дозволяє також розмістити вторинні перетворювачі компактно. Поряд з зубчатим вимірюючим диском зовнішнього вала (він не несе ніяких навантажень, а слугує лише для вимірювань) на поверхню фланця ресори нанесено зубці для вимірювання (форма, кількість, діаметральні розміри зубців однакові).



Рисунок 2 – Вимірювач потужності торсійного типу на основі мікроконтролера PIC16F84

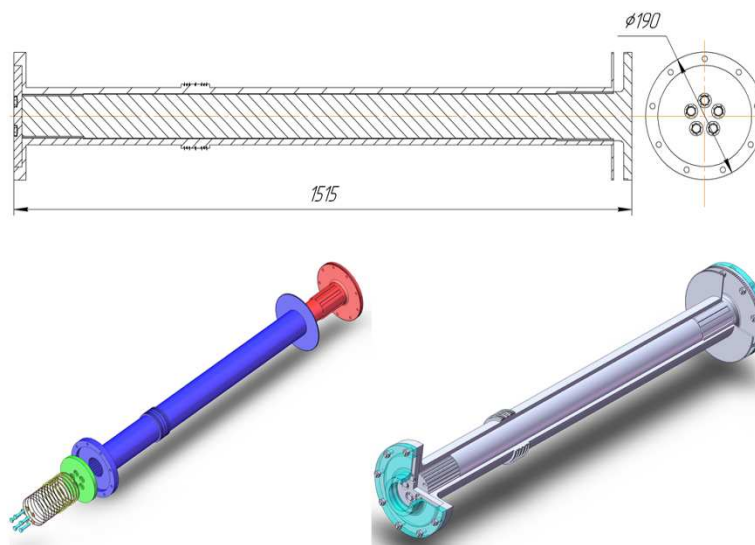


Рисунок 3 – Збірний ескіз первинного перетворювача

2.4 Елементи конструкції.

Торсійний вал, який є первинним перетворювачем датчика затраченої потужності має шліцеві з'єднання, повинен бути міцним і пластичним, працює при знакоперемінних навантаженнях. Жорсткий зовнішній вал, який несе навантаження за умов цілісності гнучкого вала повинен мати високу міцність та підвищену пластичність у разі руйнування гнучкого вала. У відповідності з цими вимогами в якості конструктивних матеріалів були порівняно розглянені: сталь 65Г (термообробка – закалка в мастилі, відпуск; використовується в деталях, які працюють при знакоперемінних навантаженнях: крупних пружинах, пружинящих кільцях і шайбах, фрикційних дисках) і сталь 40ХН (закалка в мастилі, відпуск; використовується в дрібних і середніх деталях, які працюють при високих питомих тисках і ударних навантаженнях, при вимозі високої міцності та підвищеної пластичності).

Зовнішній вал передає потужність в аварійних ситуаціях тому повинен теж мати достатню

міцність. Вибір наружних, внутрішніх діаметрів первинного перетворювача повинен бути таким, щоб розрахунок на міцність підтвердив:

- можливість його роботи в діапазоні еластичних деформацій;
- максимальна дотична напруга в валі менша допустимої;

Необхідною вимогою для первинного перетворювача є також проведення розрахунків:

- власних форм крутих коливань ресори;
- розрахунок критичних частот обертання ресори;

Визначені максимальні дотичні напруги гнучкого та жорсткого валів, діапазон кутів закручування гнучкої ресори для ГПА на базі ГТН-6.

Гнучкий вал.

Початкові данні:

$n = 6150$ об/хв - оберти ТНТ, $N = 6300$ кВт/год - потужність привідного ГТУ, $d=10$ см - діаметр торсійного валу, $G=810000$ кГ/см² - модуль пружності при скручуванні, $l=149.5$ см - лінійні розміри ресори.

Результати розрахунку:

$\tau = 508$ кГ/см² - дотична напруга;

$\alpha = 1.48^\circ$ - загальний кут закручування;

$t = 40.108$ мс - час повороту валу на ці кути в мікросекундах/

Допустимі дотичні напруги при скручуванні для сталі 65Г - 2000 кГ/см². Вал ресори з вибраними розмірами володіє достатньою міцністю і працює в межах пружних деформацій.

Жорсткий вал.

Початкові данні:

$n = 6150$ об/хв - оберти ТНТ, $N = 6300$ кВт/год - потужність привідного ГТУ, $R_1=5.1$ см - внутрішній радіус жорсткого валу, $R_2=6.5$ см - зовнішній радіус жорсткого валу, $G=810000$ кГ/см² - модуль пружності при скручуванні, $l=147$ см - лінійні розміри жорсткого валу.

Розрахунок:

$\tau = 372.6$ кГ/см² - дотична напруга/

Допустимі дотичні напруги при скручуванні для сталі 40ХН - 1700 кГ/см². Вал з вибраними розмірами володіє достатньою міцністю і працює в межах пружних деформацій.

Імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності торсійного та жорсткого валу за номінальних умов роботи ГПА ГТН-6 проведено в САЕ програмі SolidWorks SimulationXpress.

На рисунку 2.3 імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності торсійного валу при крученні. Запас міцності (коефіцієнт безпеки), виявлений у проекті, дорівнює **2,06696**.

На рисунку 2.4 імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності торсійного валу при розтягненні. Запас міцності (коефіцієнт безпеки), виявлений у проекті, дорівнює **8,2734**.

На рисунку 2.5 імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності жорсткого валу при крученні. Запас міцності (коефіцієнт безпеки), виявлений у проекті, дорівнює **2,089**.

На рисунку 2.6 імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності жорсткого валу при розтягненні. Запас міцності (коефіцієнт безпеки), виявлений у проекті, дорівнює **1,933**.

Результати імітаційного моделювання цілком задовольняють вимогам, що пред'являються до елементів ГТУ [3].

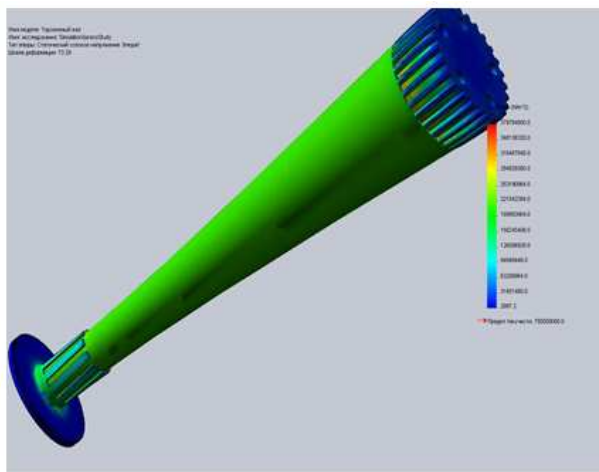


Рисунок 4 – Імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності торсійного валу при крученні

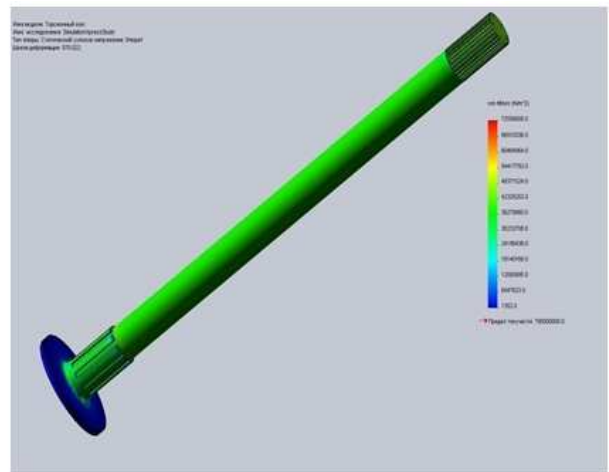


Рисунок 5 – Імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності торсійного валу при розтягненні

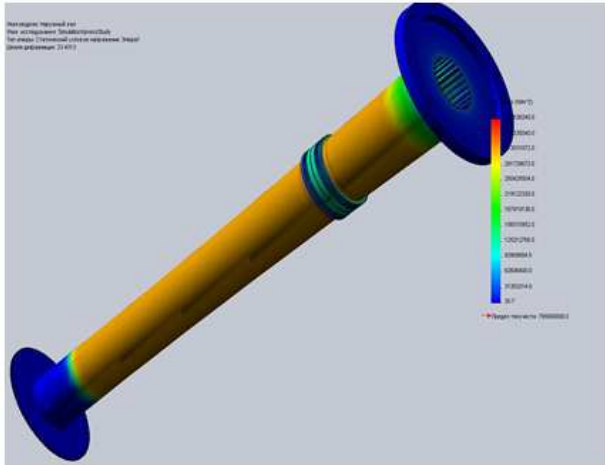


Рисунок 6 – Імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності жорсткого валу при крученні

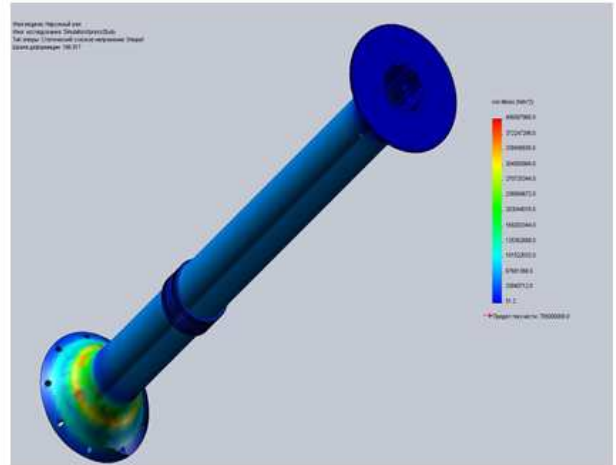


Рисунок 7 – Імітаційне моделювання коефіцієнту запасу міцності жорсткого валу при розтягненні

Висновок

Розроблена прикладна програма, вимірювач витраченої потужності надають змогу отримувати швидкі надійні непрямі технологічні параметри ГПА, накопичувати достатньо об'ємну прогнозовану інформацію про технічний стан ГПА; забезпечують можливість швидкого аналізу ефективності роботи ГПА на різних режимах оптимізуючи її і як наслідок це:

- зменшення витрат паливного газу на власні потреби;
- збільшення ресурсу ГПА,
- зменшення витрат на ремонт, відновлення та обслуговування за рахунок виводу ГПА в ремонт за «технічним станом», тобто за умов низької надійності, втрати потужності і ККД і т.д.

Література

1. Латыпов Р. Ш.:– Учебное пособие. Вопросы рациональной эксплуатации газотурбинных установок.-Уфа: Уфимский нефтяной институт, 2000. –100с.
2. Инструкция по эксплуатации ГПА с нагнетателем природного газа Н-6-56-2: УТМЗ, 1984 – 45с.
3. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А.: Учебное пособие. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок. – М.: Машиностроение, 2008. – 204 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом
міжнародної науково-технічної конференції
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*