

Современные методы энергоаудита турбоагрегатов

Шамеко С.Л., Докукин В.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

В статье рассмотрены вопросы автоматизации газодинамических испытаний стационарных турбокомпрессорных агрегатов в условиях эксплуатации. Предложен новый способ сбора и обработки опытных данных в режиме реального времени с использованием современных АСУ химических и нефтехимических предприятий. Апробирована уточненная методика пересчета газодинамических характеристик многоступенчатых турбокомпрессоров на иные начальные условия.

Ключевые слова: энергоаудит, турбокомпрессоры, газодинамические испытания.

Modern methods of turbine energy audit

S.L. Shameko, V.N. Dokukin

St. Petersburg State University Refrigeration and Food Engineering

The article shows the automatization of gas-dynamic testing of stationary turbo units in operation. A new method of collecting and processing experimental data in real time is using advanced process of control in chemical and petrochemical plants. Tested the improved method of conversion of gas-dynamic characteristics of multi-stage turbochargers for other initial conditions.

Key words: Energy Audit, turbochargers, gas-dynamic tests.

В настоящее время большая часть турбокомпрессорных агрегатов, используемых в разнообразных технологических линиях и производствах, находится в работе на протяжении нескольких десятков лет и не соответствует требованиям экономичной и безопасной работы. В связи с этим довольно остро стоит проблема экономии энергоресурсов и повышения надежности агрегатов. Для решения этих задач необходимо располагать данными о фактическом состоянии машины, что достигается проведением газодинамических и механических испытаний агрегата в условиях эксплуатации. Отметим, что отклонение рабочих режимов от паспортных обусловлено не только физическим старением машин, но и несоответствием начальных параметров (начальной температуры t_n , начального давления p_n , состава газа и т.д.) расчетным значениям.

На большинстве предприятий технические возможности стационарных систем управления и контроля технологическими процессами (АСУТП) позволяют собирать и обрабатывать необходимую информацию в режиме

реального времени непосредственно в период испытаний турбоагрегатов (рис.1).

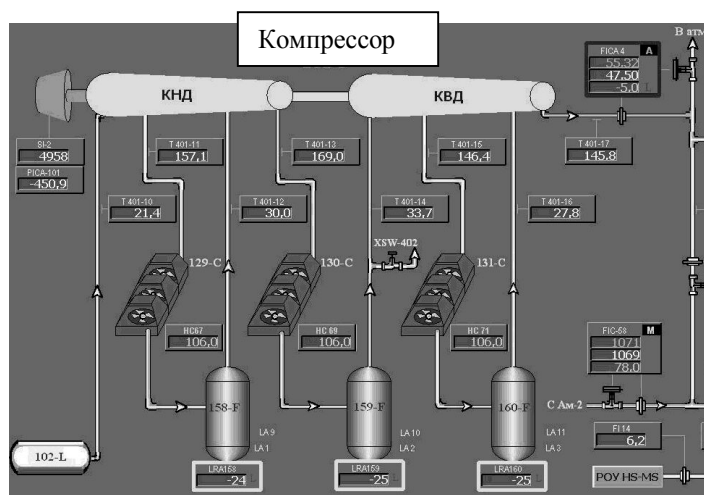


Рис.1 Газодинамическая мнемосхема турбоагрегата (вид с монитора стационарной АСУТП)

Система сбора и обработки опытных данных в режиме реального времени представляет собой портативный программно-измерительный комплекс, состоящий из ноутбука с установленной SCADA «Winlog-pro» и коммуникаций для подключения к стационарной АСУТП (рис.2).

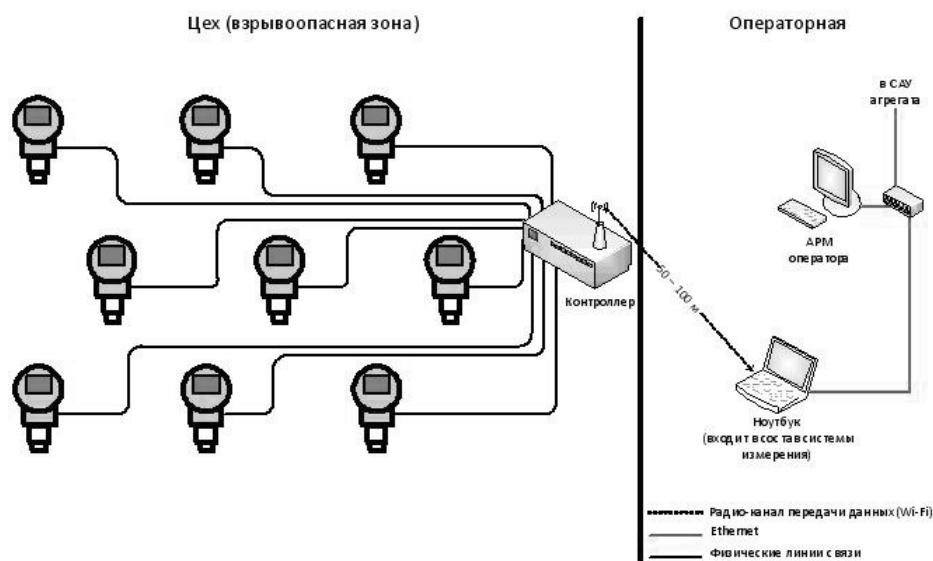


Рис.2 Связь программно-измерительного комплекса со стационарной АСУТП и объектом испытаний

В программном обеспечении «Winlog-pro» реализованы алгоритмы обработки опытных данных и пересчета газодинамических характеристик неохлаждаемых секций центробежных компрессоров на номинальные начальные условия. За основу приведения опытных данных к номинальным начальным условиям нами принята методика, разработанная проф. В.Ф. Рисом [1]:

Объемная производительность секции по условиям всасывания: $Q_0 = \frac{n_0}{n} Q$;

Повышение температуры секции: $\Delta T_0 = \left(\frac{n_0}{n}\right)^2 \frac{k(k_0-1)RZ}{k_0(k-1)R_0Z_0} \Delta T$;

Число политропы: $\sigma_0 = \frac{k_0}{(k_0-1)} \eta_{пол}$;

Отношение давлений секции: $\varepsilon_0 = \left(1 + \frac{\Delta T_0}{T_{H0}}\right)^{\sigma_0}$;

Внутренняя мощность секции: $N_{i0} = \left(\frac{n_0}{n}\right)^3 \frac{\rho_{H0}}{\rho_H} N_i$,

где подстрочным индексом 0 обозначены параметры приведения, а все обозначения соответствуют принятым в монографии [1].

Для определения действительного расхода по показанию прибора вносится соответствующая поправка:

$$Q_{g(0)} = Q_g \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_{g(0)}}}; \quad Q_{g(0)} = Q_g \sqrt{\frac{p_0 T Z}{p T_0 Z_0}}$$

где Q_g – расход газа, приведенный к стандартным условиям, то есть к 0°С и 760 мм.рт.ст., либо к 20°С и 760 мм.рт.ст.;

ρ_g – плотность газа, приведенная к соответствующим стандартным условиям.

Параметры с подстрочным индексом 0 соответствуют действительным параметрам газа, а без индекса – параметрам, участвующим в расчете сужающего устройства.

Обработка опытных данных в режиме реального времени по заданным алгоритмам позволяет отображать фактический режим работы на прогнозируемых газодинамических характеристиках турбоагрегата в течение всего периода проведения эксплуатационных испытаний (рис.3).

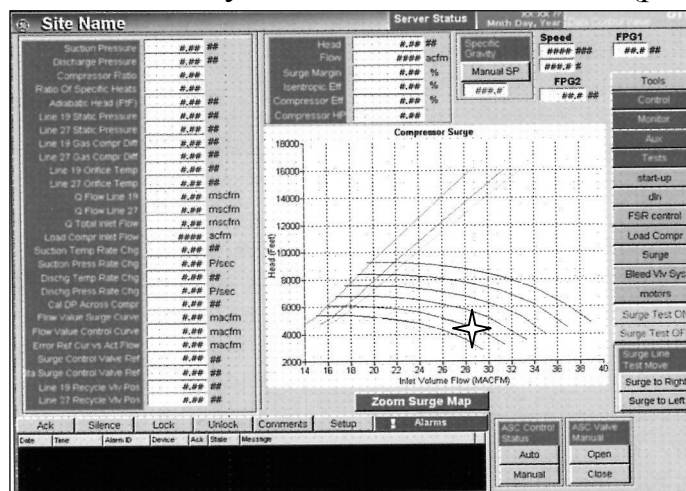


Рис.3 Газодинамические характеристики турбоагрегата в период испытаний (вид с монитора программно-измерительного комплекса)

★ - фактический режим работы турбоагрегата (мгновенное значение)

Отметим, что вышеописанная методика приведения опытных данных к номинальным начальным условиям справедлива лишь для одиночной ступени центробежного компрессора, а для многоступенчатых проточных частей (неохлаждаемых секций) является весьма приближенной [2]. Однако, структура SCADA системы, используемой в программно-измерительном комплексе, обладает возможностью «наращивания» уже реализованных алгоритмов, что позволило применить уточненную методику, предложенную проф. Г.Н. Деном [2,3], и апробированную авторами на ряде натуральных компрессоров [4].

Использование программно-измерительного комплекса в период газодинамических испытаний турбоагрегата позволяет в режиме реального времени:

- оценить энергетическую эффективность работы агрегата;
- сравнить фактические режимы работы с гарантийными характеристиками;
- контролировать положение рабочей точки относительно расчетной кривой (возможность отстройки от помпажа, торможения и других нестационарных режимов);
- контролировать вибрационное состояние опор агрегата;
- оценить износ механических и уплотнительных узлов.

По результатам газодинамических и механических испытаний выполняется полный анализ фактической работы турбокомпрессорного агрегата. В зависимости от требований Заказчика разрабатываются рекомендации по:

- снижению удельного энергопотребления;
- повышению/снижению производительности агрегатов;
- замене существующего оборудования;
- повышению надежности турбомашин.

Список литературы:

1. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины.– Л.:”Машиностроение”,1981, - 351 с.
2. Ден Г.Н. Проектирование проточной части центробежных компрессоров. – Л.:”Машиностроение”,1980.
3. Ден Г.Н., Куликов В.М. О критериях подобия при сжатии реальных газов, моделирование проточных частей и пересчет газодинамических характеристик ЦКМ на иные условия работы // Турбины и компрессоры. №1,2-2000, с.49-51.
4. Шамако С.Л., Докукин В.Н. (СПбГУНиПТ, Санкт-Петербург) Использование информационных технологий при оценке энергетической эффективности турбоагрегатов // Труды V международной научно-технической конференции «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ», 2011, с.69.