



УДК 621.438

ФИЛЬТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

FILTRATION OF WORKING CONDITIONS OF THE GAS TURBINE PLANT FOR ASSESSMENT THE TECHNICAL CONDITION

Якименко Иван Сергеевич, магистрант каф. «Турбины и двигатели» Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: Ivan.Iakimenko@at.urfu.ru.

Блинов Виталий Леонидович, кан. тех. наук. старший преподаватель каф. «Турбины и двигатели» Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vithomukyn@mail.ru.

Yakimenko Ivan Sergeyevich, Student, Department « Turbines and Engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: Ivan.Iakimenko@at.urfu.ru.

Blinov Vitaly Leonidovich, Candidate Sc., Senior Lecturer, Department « Turbines and Engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vithomukyn@mail.ru.

Аннотация: В настоящей работе рассматривается алгоритм фильтрации параметров работы газоперекачивающего агрегата из архивов системы автоматического управления для использования их при оценке технического состояния газотурбинной установки.

Abstract: In this paper we consider of the filtering algorithm the parameters of the gas turbine plant of the automatic control system files for use in the assessment of the technical position of the gas turbine plant.

Ключевые слова: газотурбинные установки; газоперекачивающие агрегаты; техническое состояние; эффективная мощность.

Key words: gas turbine plants; gas pumping units; technical condition; effective power.

ВВЕДЕНИЕ

Для газотранспортных предприятий важным является поддержание высокой надежности транспорта газа и снижение эксплуатационных затрат. Выполнение этих задач, может быть реализовано при мониторинге технического состояния (ТС) эксплуатируемого оборудования. Особое внимание уделяется оценки ТС газотурбинных установок (ГТУ) [1]. Существует множество методов определения ТС ГТУ, каждый из которых может использовать различные входные измеряемые параметры [2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Настоящая работа направлена на определение эффективной мощности, КПД и коэффициента технического состояния (КТС) ГТУ. В случае, когда оценка эффективной мощности и технического состояния ГТУ осуществляется не по результатам теплотехнических испытаний, а по данным штатных измерений и записям архивов системы автоматического управления (САУ) ГПА, важным является отсев параметров, относящихся

к переходным и неустановившимся режимам работы ГПА. Поскольку использование данных параметров приведет к значительным погрешностям в определении мощности, КПД и КТС ГТУ.

Задачей настоящего исследования является разработка и апробация алгоритма фильтрации параметров работы ГПА, которые впоследствии могут быть использованы для оценки технического состояния ГТУ.

В качестве объекта исследования выбрана ГТУ типа НК-16СТ.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ

Разрабатываемый алгоритм фильтрации параметров ГПА состоит из четырех этапов. Первый этап направлен на отсев времени простоя ГПА, а также режимов пуска и останова. Условием фильтрации является ограничение по нижнему пределу частот вращения роторов ГТУ

значениями, которые соответствуют режиму холостого хода.

На втором этапе выполняется поиск и фильтрация переходных режимов, при которых параметры работы ГПА изменяются в течение нескольких минут или секунд. Для этого строится зависимость изменения какого-либо из ключевых параметров от времени, выбирается диапазон времени для анализа и осуществляется построение линии тренда по значениям параметра в заданном промежутке времени (рис. 3). Фильтрация такого рода осуществляется по двум критериям: углу наклона линии тренда ряда данных за определенный период времени и среднеквадратичным отклонениям точек режимов от линии тренда. Проверка угла осуществляется только в случае, если среднеквадратичное отклонение не превышает допустимых значений. Для определения отклонений используется метод малых квадратов. На рис.3 представлен пример описанной операции по данным работы агрегата за один день. В качестве анализируемых параметров выбраны частота вращения ротора силовой турбины и средняя температура перед силовой турбиной.

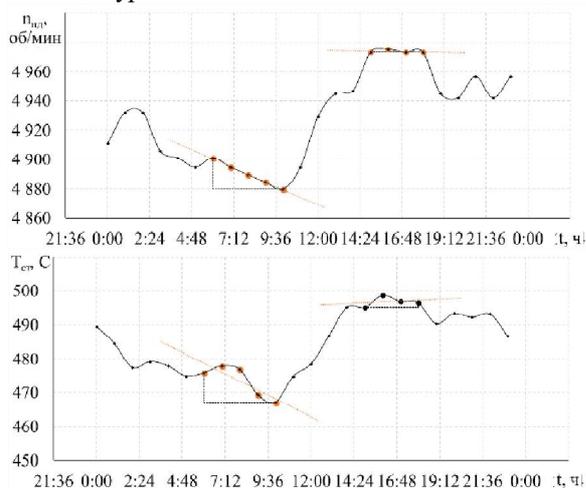


Рис. 3. Фильтрация переходных режимов ГТУ

Третий этап фильтрации разделен на три степени отбора установившихся режимов работы по диапазонам изменения параметров (таблица 1.). Отсев производится по частотам вращения вала низкого давления ($n_{нд}$), высокого давления ($n_{вд}$), силовой турбины ($n_{ст}$), температурам на входе в осевой компрессор ($T_{в\ вх\ ОК}$), перед силовой турбиной ($T_{г\ ст}$), давлению за ОК ($P_{за\ ОК}$). Выбор допустимого диапазона колебания измеренных параметров индивидуален для каждого типа ГПА и является отдельной задачей. Чем выше степень фильтрации, тем уже диапазон. При этом очень узкий диапазон может и отрицательно сказаться на точности конечного результата, когда после фильтрации остается малое число режимов для анализа. Выбор степени фильтрации осуществляется на основании оценки

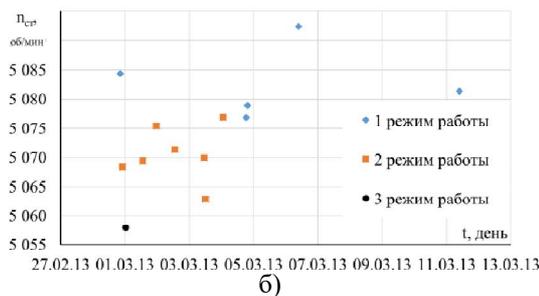
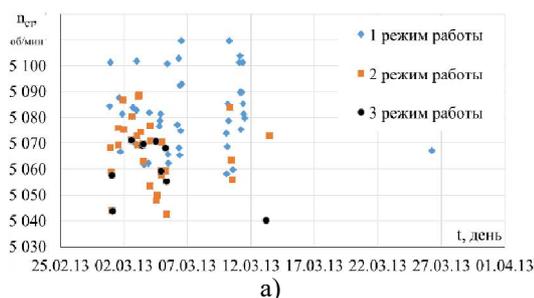
неопределённости типа А в соответствии с методами оценки неопределенности [3]. На рис. 4 показан результат отбора режимов по трем степеням фильтрации.

В настоящем исследовании для отобранных режимов работы по каждой степени фильтрации произведен расчет погрешности типа А. Наибольшее значение погрешности наблюдается у третьей степени фильтрации, в связи с небольшим количеством измерений (режимов). Для дальнейшего анализа выбрана вторая степень фильтрации.

Впоследствии, чтобы исключить грубые погрешности, применяется критерий Граббса [4]. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса предполагая, что наибольший или наименьший результат измерений вызван грубыми погрешностями. Группой результатов измерений называется не менее 4 измерений, полученных при измерении одной и той же величины, выполненных с одинаковой тщательностью, одним и тем же средством измерения, и методом.

Таблица 1.

№	Параметр	Размерность	Степень фильтрации		
			1	2	3
1	$n_{нд}$	об/мин	+/- 30	+/- 15	+/- 10
2	$n_{вд}$	об/мин	+/- 50	+/- 25	+/- 10
3	$n_{ст}$	об/мин	+/- 30	+/- 15	+/- 10
4	$T_{г\ ст}$	К	+/- 8	+/- 4	+/- 2
5	$T_{в\ вх\ ОК}$	К	+/- 3	+/- 1,5	+/- 1
6	$P_{за\ ОК}$	кг/см ²	+/- 0,45	+/- 0,23	+/- 0,15



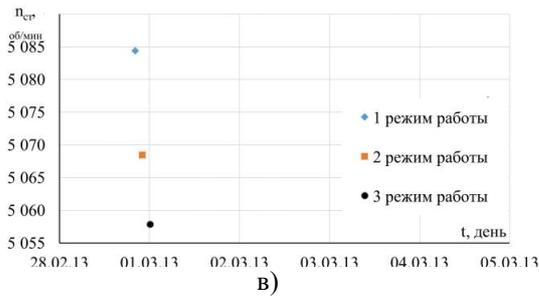


Рис. 4. Первая (а), вторая (б) и третья (в) степени фильтрации режимов работы ГПА

При оценке технического состояния ГТУ возникают вопросы: какое минимальное количество режимов достаточно для анализа, получения результата с минимальной погрешностью и какой шаг необходимо соблюдать между режимами по измеряемому параметру. В настоящей работе предложена зависимость изменения шага (а) от количества точек (х), позволяющая дать ответ на сформулированные вопросы. На рис. 5 представлен пример зависимости изменения мощности ГТУ от частоты вращения ротора СТ с выделенным диапазоном рабочих режимов ГПА с ГТУ типа НК-16СТ. Пример зависимости определения шага между режимами по частоте вращения ротора СТ представлен на рис. 6. Так, если для построения линии мощности достаточно двух точек, то шаг будет равен разности максимального и минимального значения рабочего диапазона, т.е. в данном случае 800 об/мин. А если необходимо иметь пять режимов, то шаг составит 200 об/мин и т.д. Диапазон рабочих режимов будет изменяться в зависимости от рассматриваемого типа ГТУ.

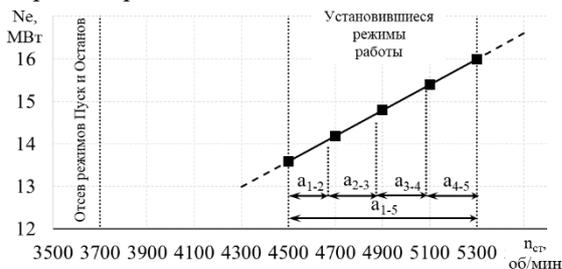


Рис. 5. Основной диапазон рабочих режимов

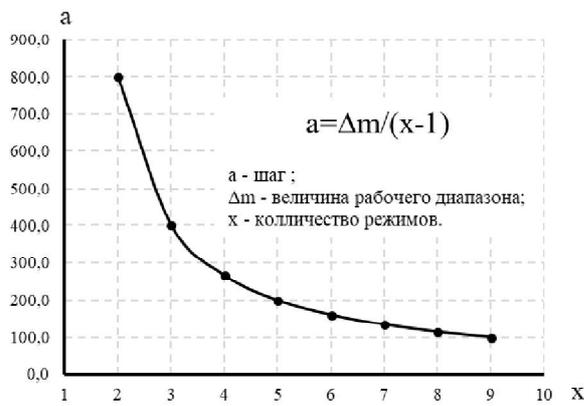


Рис. 6. Зависимость шага от количества режимов

Используя предложенный алгоритм, выбирается шаг между режимами по выбранным параметрам работы ГПА. Далее осуществляется отсев записей архивов САУ по третьему этапу фильтрации, описанному ранее. Полученная совокупность параметров (например, см. рис. 4, б) для каждого режима в отдельности усредняются. Таким образом осуществляется набор режимов для оценки располагаемой мощности и технического состояния ГТУ.

Четвертый этап фильтрации включает в себя методы расчета эффективной мощности. На данном этапе проводится расчет мощности по полученным параметрам режимов (с использованием одного из подходов описанных ранее [2]) и строится зависимость приведенной эффективной мощности от ограничивающего параметра работы ГПА (аппроксимация точек линейной зависимостью). Если на данной зависимости наблюдается «выпавшая точка», которая определяется по среднеквадратичному отклонению значения мощности на данном режиме от построенной линии мощности, то данный режим работы ГПА также исключается из анализа и осуществляется перестроение зависимости. После этого на основании полученных зависимостей определяется располагаемая мощность, КПД и коэффициент технического состояния ГТУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложен алгоритм фильтрации параметров работы ГПА из архивов САУ для использования их при оценке технического состояния ГТУ. Для уточнения методики необходимо провести апробацию алгоритма на установках различного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Б.С. Ревзин. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002. С. 265.
- 2.Якименко И.С., Блинов В.Л., Комаров О.В. Оценка технического состояния газотурбинных установок по мощности. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Екатеринбург, 2016. С.316-319. УрФУ, 2016. – С. 742.
- 3.ГОСТ Р 52782-2007 – Установки газотурбинные. Методы испытаний. Приемочные испытания.
- 4.ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.