

УДК 621.515

Д.Ж. САМБИЛОВ, аспирант (ФГБОУ ВО БГУ)  
Д.Б. ЦЫБИКОВ, преподаватель (ФГБОУ ВО ВСГУТУ)  
Н.И. МОШКИН, д.т.н., профессор (ФГБОУ ВО БГУ)  
г. Улан-Удэ

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА ТКР 7С-6

Автоматизированные испытания позволяют сократить время испытаний на 25...35%, снизить время обработки результатов в 2...2,5 раза, повысить информативность и объективность контроля на 25...30% и уменьшить трудозатраты [1].

В основу разработки программы «Диагностирование ТКР» заложена концепция SCADA систем. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — диспетчерское управление и сбор данных. Данные системы позволяют организовать обмен и обработку данных в режиме реального времени, позволяют отображать информацию о сопутствующих процессах, информирование оператора об аварийных режимах и формирование отчетной документации.

Согласно типовому представлению SCADA-системы в разработанном проекте реализованы следующие подсистемы [2]:

- Встроенный драйвер Labview Visa Serial для последовательного COM порта.
- Система реального времени обеспечивающая обработку входных данных с учётом приоритета и периода обновления.
- Человеко-машинный интерфейс (HMI, англ. Human Machine Interface) представляющий данные о ходе процесса человеку оператору, что позволяет оператору контролировать процесс и управлять им.
- База данных — позволяет накапливать информацию о выходных процессах функционирования объекта диагностирования.
- Генератор отчетов позволяет сохранять базу данных в табличном формате для последующего анализа и обработки.

Цель разработки данного программного обеспечения заключается в обеспечении мониторинга выходных параметров в автоматическом режиме при испытании на безмоторном стенде турбокомпрессора ТКР 7С-6, с последующим сохранением статистической информации для анализа и выявления неисправностей испытуемого объекта.

---

Для реализации системы мониторинга параметров работы турбокомпрессоров ТКР 7С-6 в процессе испытаний на безмоторном стенде, используется язык программирования LabView.

LabView – язык графического программирования G, достоинства данного языка программирования заключаются в:

- широкой аппаратной поддержке,
- высокой скорости компилирования кода программы,
- интуитивно понятный интерфейс.
- широкая области применения в производственной и научной отраслях.

### **Описание программного продукта**

В качестве объекта диагностирования выступает турбокомпрессор ТКР 7С-6 оснащенный датчиками позволяющие регистрировать следующие выходные параметры: давление наддува, температуру воздуха на впуске и выпуске компрессорной ступени, массовый расход воздуха через компрессорную ступень, частоту вращения вала ротора турбокомпрессора, температуру на впуске и выпуске турбинной ступени, давление в системе смазки турбокомпрессора, а также степень повышения давления турбокомпрессора. В соответствии с данными выходными параметрами диагностического объекта была разработана следующая структурная схема программного обеспечения (ПО) (рис.1).

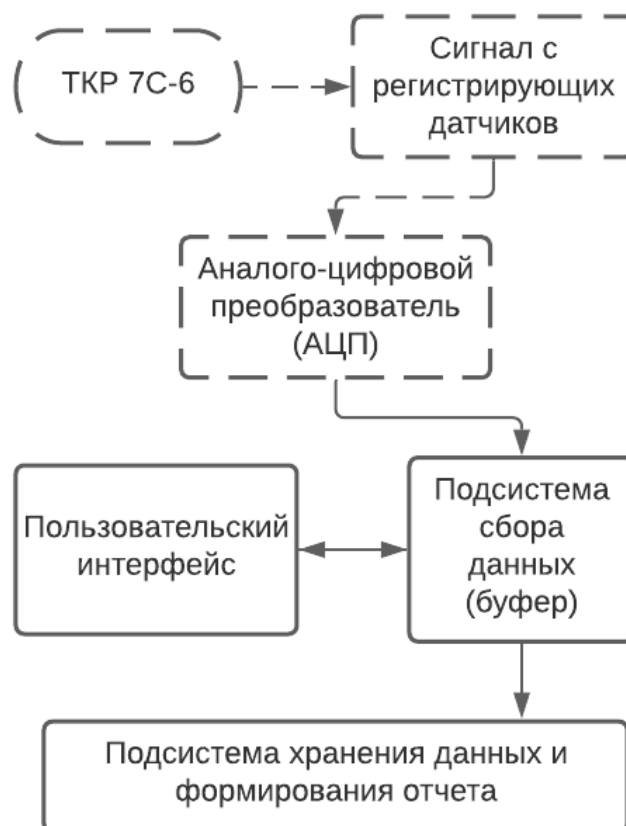


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого ПО

Для оцифровки аналоговых сигналов с датчиков давления, массового расхода воздуха применяются аналого-цифровые преобразователи (АЦП) на базе микроконтроллеров ATmega2560, ATmega328. Подсистема сбора данных включает в себя следующие операции:

- выбор режима работы;
- выбор частоты дискретизации;
- выбор способа для определения момента начала записи в буферную память;
- ожидание момента времени окончания записи в буферную память;
- чтение результатов преобразования из буферной памяти;
- преобразование данных.

Коммуникация между АЦП и подсистемой сбора данных осуществляется по протоколу передачи данных RS-232 через виртуальный COM порт.

Далее поток данных объединяется в массив с последующей записью в файл с расширением «.csv».

Для удобства отслеживания рабочих параметров испытуемого объекта, был разработан визуальный интерфейс (рис.2).

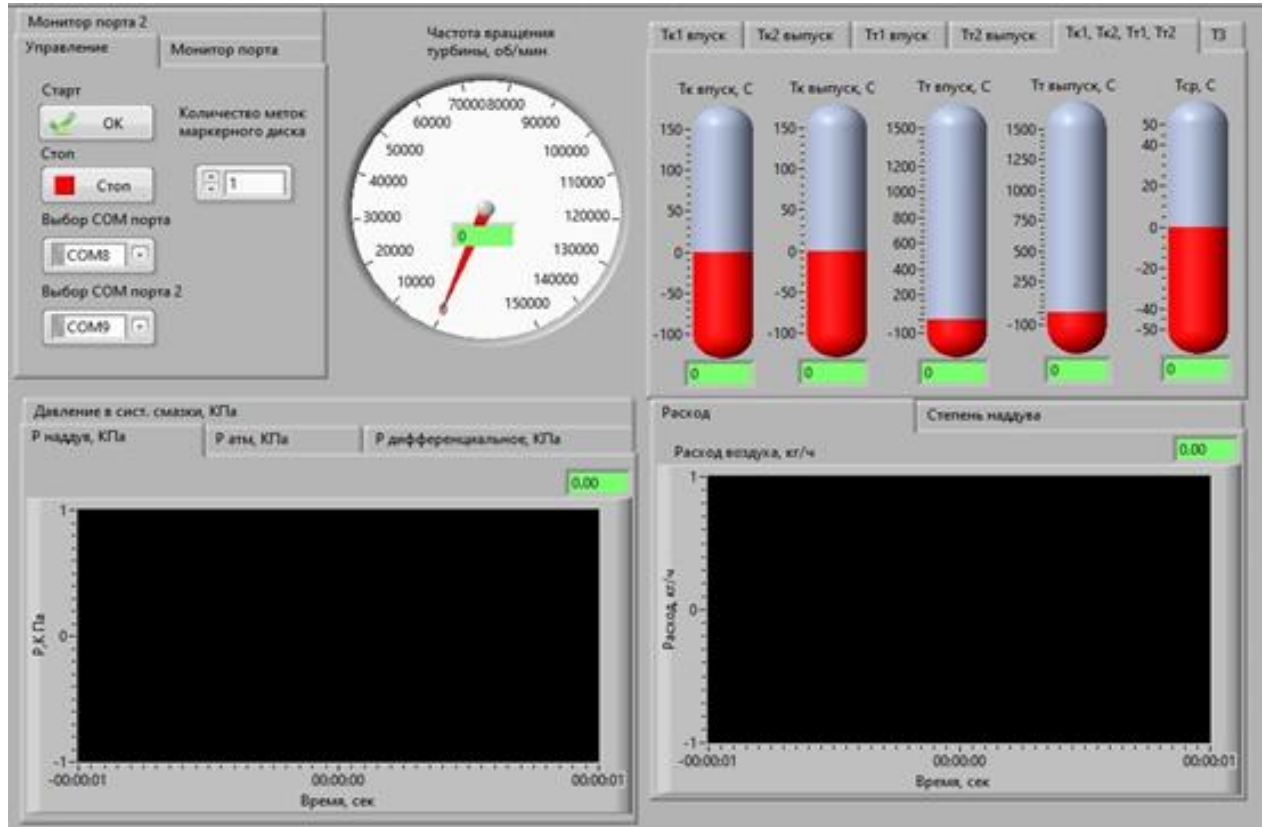


Рисунок 2 – Визуальный интерфейс ПО

### Полученные результаты

В процессе испытаний турбокомпрессора ТКР 7С-6 был составлен следующий алгоритм (рис.3).

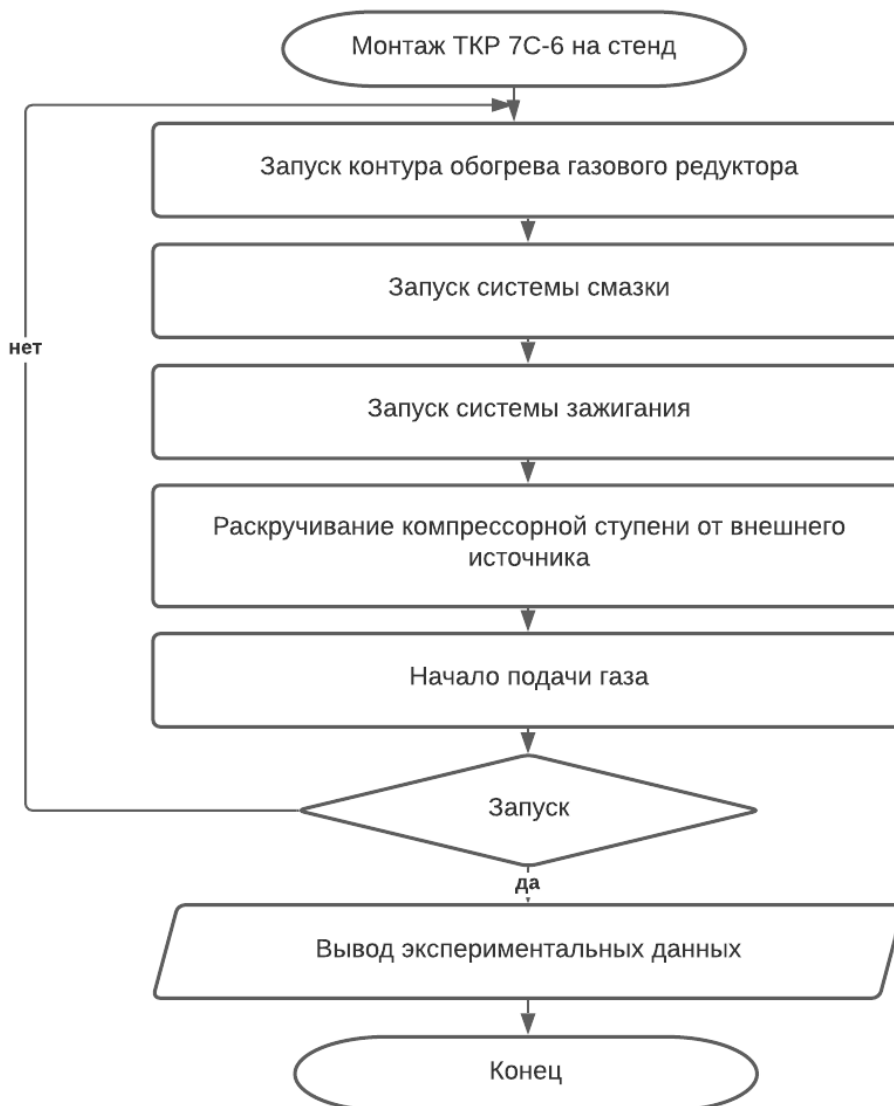


Рисунок 3 – Алгоритм запуска безмоторного испытательного стенда

Основной задачей при проведении экспериментальных исследований являлось установить влияние неисправностей, связанных с естественным износом подшипникового узла на параметры функционирования турбокомпрессора ТКР 7С-6. Для выявления данных зависимостей использовались два турбокомпрессора в исправном состоянии и турбокомпрессора с признаками износа, которые проявляются в виде увеличенного расхода масла.

Сделаем выборку и сравним параметры исправного турбокомпрессора ТКР 7С-6 (ТКР1) с параметрами компрессора, имеющего признаки неисправности ТКР 7С-6 (ТКР2). Диапазон выборки характеризуется разгонными характеристиками турбокомпрессоров с  $3900 \text{ мин}^{-1}$  до  $14000$

мин<sup>-1</sup>, что обуславливается невозможностью снять характеристики неисправного турбокомпрессора выше данного диапазона измерений.

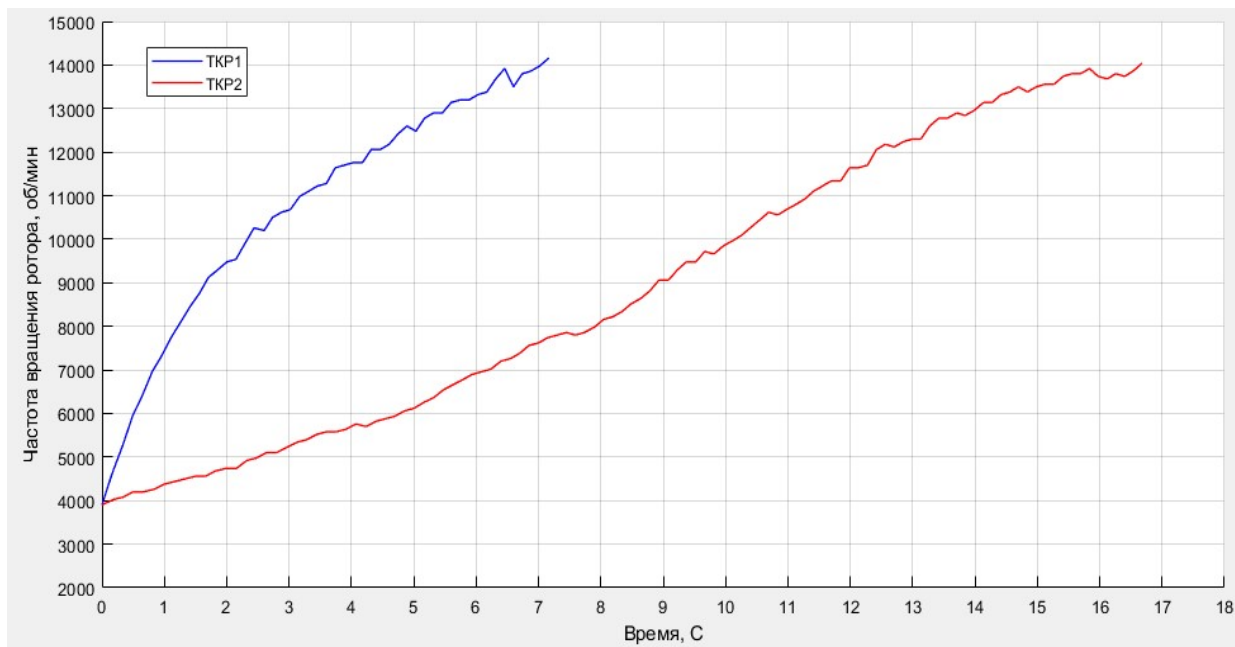


Рисунок 4 – Разгонная характеристика турбокомпрессоров ТКР1 и ТКР2

Из рисунка 4 видно, что время разгона с 3900 мин<sup>-1</sup> до 14000 мин<sup>-1</sup> значительно увеличилось для неисправного компрессора (ТКР2), что характеризует увеличение потерь на трение в подшипниковом узле турбокомпрессора.

Также наблюдается значительное увеличение теплонапряженности агрегата в целом (рис.5). Показания температуры на выходе турбинной ступени в приближенных равных условиях испытаний составили 186 °С для исправного турбокомпрессора (ТКР1) и 247 °С для неисправного турбокомпрессора (ТКР2).

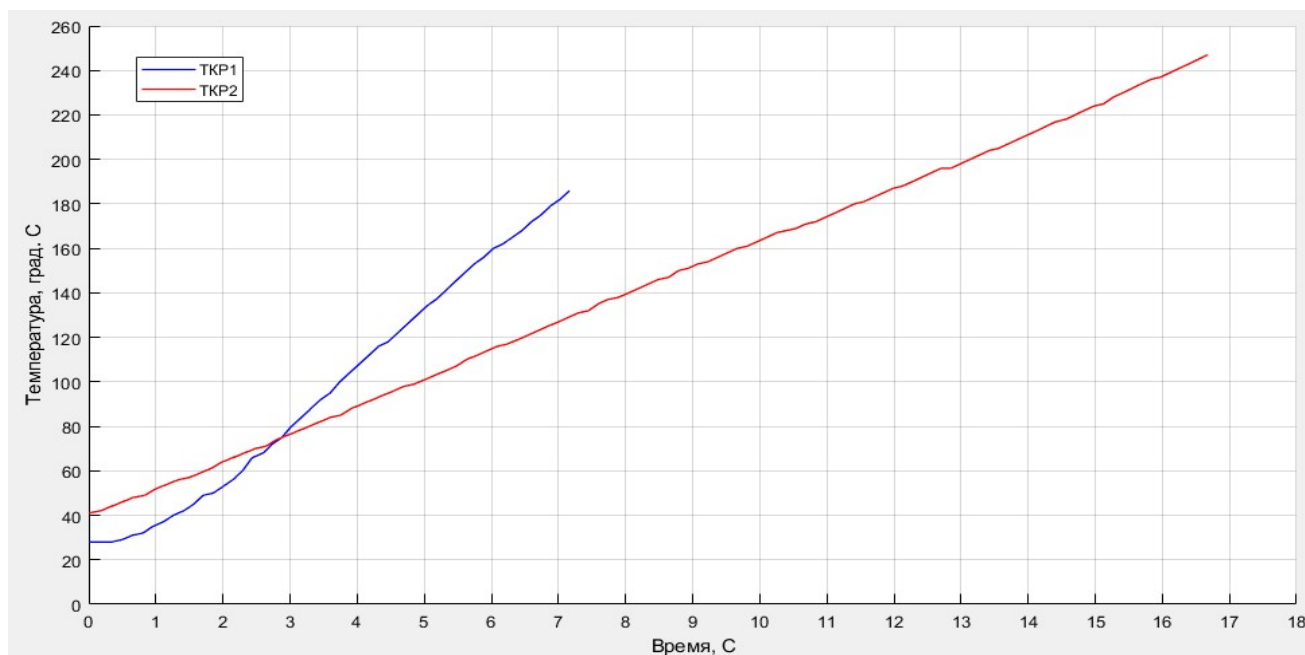


Рисунок 5 – Температурный режим турбокомпрессоров ТКР1 и ТКР2

Из рисунка 6 также наблюдается падение давления наддувочного воздуха компрессорной ступени вследствие износа подшипникового узла испытуемого образца (ТКР2).

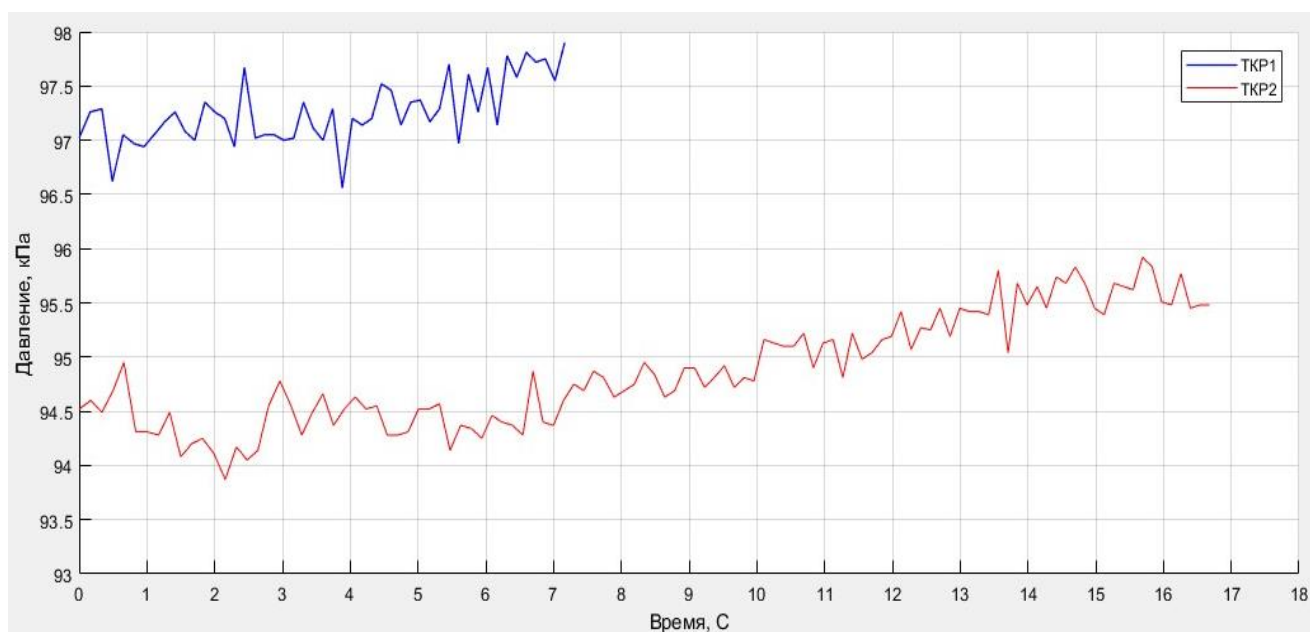


Рисунок 6 – Давление наддувочного воздуха турбокомпрессоров ТКР1 и ТКР2

Последующая разборка испытуемого образца (ТКР2) выявила следующие дефекты: следы абразивного изнашивания на внутренней и внешней сторонах втулки опорного подшипника, а также в отверстии под втулку среднего корпуса (рис.7).



Рисунок 7 – Следы абразивного изнашивания турбокомпрессора ТКР2

### Заключение

Разработанное программное обеспечение позволяет оценить работоспособность испытуемого объекта (турбокомпрессора ТКР 7С-6), а также автоматизировать процесс испытаний. Выполненный графический анализ данных, полученных в процессе испытаний позволил выявить износ испытуемого объекта (ТКР2), который проявляется в виде: увеличенного времени выбега вала ротора, увеличении теплонапряженности, снижении величины давления наддувочного воздуха и подтекания масла в корпус компрессора и турбины. По результатам выверки полученных данных и отладки программного обеспечения «Диагностирование ТКР» получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ под № 2020661040.

### Список литературы:

1. Автоматизация процесса испытания авиационных гтд на базе SCADA-системы LabView / Д. А. Ахмедзянов [и др.] // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU. 2009. №2.
2. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы : учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с.

### Информация об авторах:

Самбилов Дамдин Жамсаранович, аспирант, Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, [187rider@mail.ru](mailto:187rider@mail.ru)

Цыбиков Дмитрий Баторович, преподаватель, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 670013, г. Улан-Удэ, л. Ключевская, д. 40В, строение 1, [microfool000@gmail.com](mailto:microfool000@gmail.com)

Мошкин Николай Ильич, д.т.н., профессор, Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, [nim73@rambler.ru](mailto:nim73@rambler.ru)