

### Выводы

На основе научных результатов проекта будет создан программно-информационный комплекс для расчета теплового состояния лопаток турбомашин на стадии их автоматизированного проектирования. Данный программно-информационный комплекс применим в энергетике и авиастроении, в частности при проектировании лопаточных аппаратов энергетических паро- и газотурбинных установок и газотурбинных двигателей.

С учетом полученных результатов представляется перспективной дальнейшая доработка программно-информационного комплекса, позволяющая проводить расчет теплового состояния лопаток турбомашин с повышенной точностью с учетом газодинамической температурной стратификации потока, что позволит разрабатывать новые способы охлаждения лопаточных аппаратов на основе данного феномена.

### Литература

1. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. - М.: «Физмалит», 2010. – 480 с.
2. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 548 с.
3. Ковальногов В.Н., Федоров Р.В., Цветова Е.В., Петров А.В. Математическое моделирование и исследование газодинамической температурной стратификации в дисперсном потоке// Автоматизация процессов управления, 2013. – № 1. – с. 40-46.
4. Ковальногов Н.Н. Пограничный слой в потоках с интенсивными воздействиями. – Ульяновск: УлГТУ, 1996. – 245 с.
5. Копелев С.З., Слитенко А.Ф. Конструкция и расчет систем охлаждения ГТД. – Х.: «Основа», 1994, 121 с.
6. Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях: Научное издание/ Августиневич В.Г., Шмотин Ю.Н. и др. – М.: «Машиностроение», 2005. – 536 с.

### **Стабилизация температуры газа и оборотов ротора на стенде контрольно-исследовательских испытаний турбокомпрессоров средствами автоматизации**

Ковальцов И.В., Каминский Р.В., д.т.н. проф. Каминский В.Н., Сибиряков С.В.,  
Корнеев С.А., Зайцев О.Г.  
Университет машиностроения, АО «НПО «Турботехника»  
8 (4967) 74-49-03, [design@kamturbo.ru](mailto:design@kamturbo.ru)

*Аннотация.* Описывается схема стенда и способы управления. Рассматривается работа с контроллером BR 5pp520 и подключенные к нему системы ввода-вывода посредством внутренней шины X2X и программирования в среде Automation studio. Описываются алгоритмы программы по стабилизации оборотов ротора путем управления исполнительным устройством подачи воздуха, а также алгоритм программы стабилизации температуры газов перед турбиной турбокомпрессора.

*Ключевые слова:* стенд испытания турбокомпрессоров, automation studio, автоматизация, человеко-машинный интерфейс

Для стенда контрольно-исследовательских испытаний систем наддува, создаваемого в НПО «Турботехника», требуются алгоритмы управления по обеспечению стабильной температуры и обеспечению постоянных оборотов ротора. Это необходимо для создания режима испытаний, при которых происходит сохранение всех измеряемых параметров для расчета КПД турбокомпрессора.

Задача состоит в создании системы, способной быстро реагировать на изменения условий технологической среды во время испытаний на стенде контрольно-исследовательских испытаний.

Существует несколько способов решения подобных задач, один из которых – автоматизация процесса регулирования, другой – ручное регулирование. Ручное регулирование возможно, но является крайне сложным в условиях многозадачности процесса и влияния на результат испытания «человеческого фактора», что приводит к большим погрешностям измерения параметров, поэтому был выбран способ регулирования, основанный на применении средств автоматизации.

Для достижения цели необходим высокопроизводительный контроллер, способный быстро управлять процессами. Был выбран контроллер V&R 5PP520 (рисунок 1), обладающий следующими характеристиками:

- цветной 15-дюймовый дисплей, 16 миллионов цветов, разрешение 1024 x 768;
- аналоговый сенсорный экран;
- процессор Intel® Graphics Media Accelerator 500 с частотой 1100МГц;
- флеш-карта 512 Мб;
- операционная система реального времени;
- оперативная память 512 Мб;
- плата X2X для обмена данными с цифровыми и аналоговыми устройствами.



Рисунок 1. Панель-контроллер

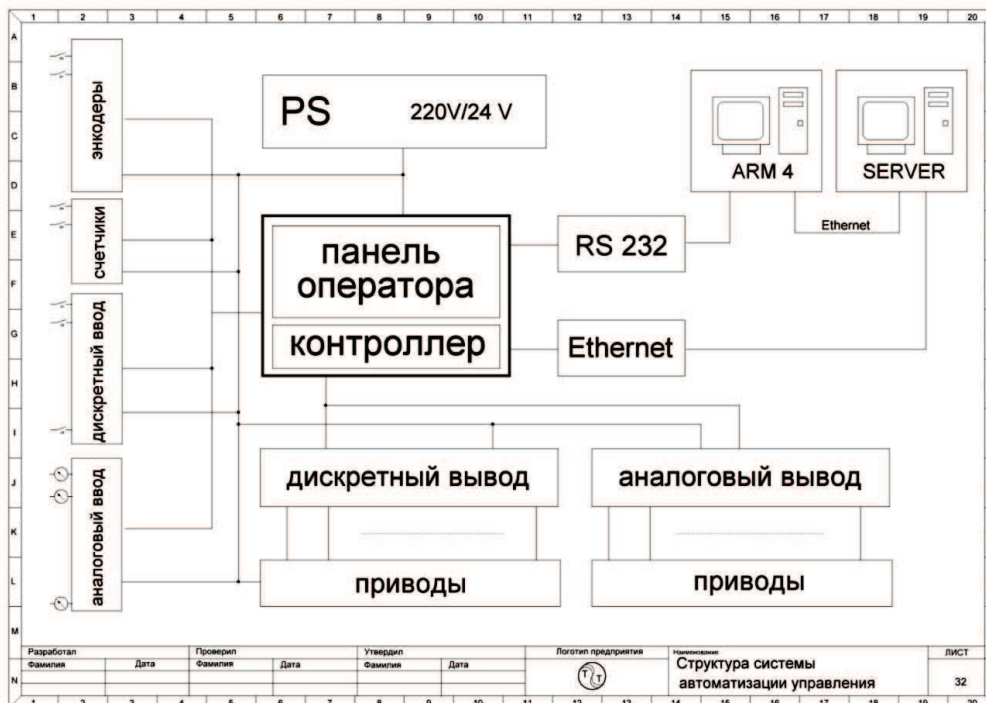


Рисунок 2. Схема стенда

Панель-контроллер представляет собой программируемый логический контроллер, объединенный с сенсорной панелью. Нет необходимости передавать данные с контроллера на панель – это уже реализовано в среде разработки. Для удобства программиста визуальная часть полностью интегрирована с программной, вследствие чего упрощается процесс визуализации.

Панель-контроллер связан с сервером по Ethernet, сервер обрабатывает всю полученную информацию и отправляет ее на АРМ оператора. Панель-контроллер связан с вторичными измерительными устройствами по шине Х2Х. К ним уже напрямую подключены первичные измерительные устройства (рисунок 2). Это позволяет обеспечить высокую скорость передачи данных, необходимую для управления процессами испытания. Оператор может следить за процессом испытания как с компьютера, так и с панели управления. Сохранять результаты испытаний возможно только на АРМе.

Программного управления для решения задачи недостаточно, необходим человеко-машинный интерфейс (рисунок 3), позволяющий оператору полностью управлять процессом испытания. Возможны два способа управления ходом испытания: сенсорная панель и пульт оператора. Они управляют одними и теми же процессами. С помощью пульта оператора можно управлять восьмью клапанами, запускать или останавливать маслостанцию и испытания. С помощью сенсорной панели оператор может проводить настройку стенда, включать различные агрегаты, колибровать датчики.

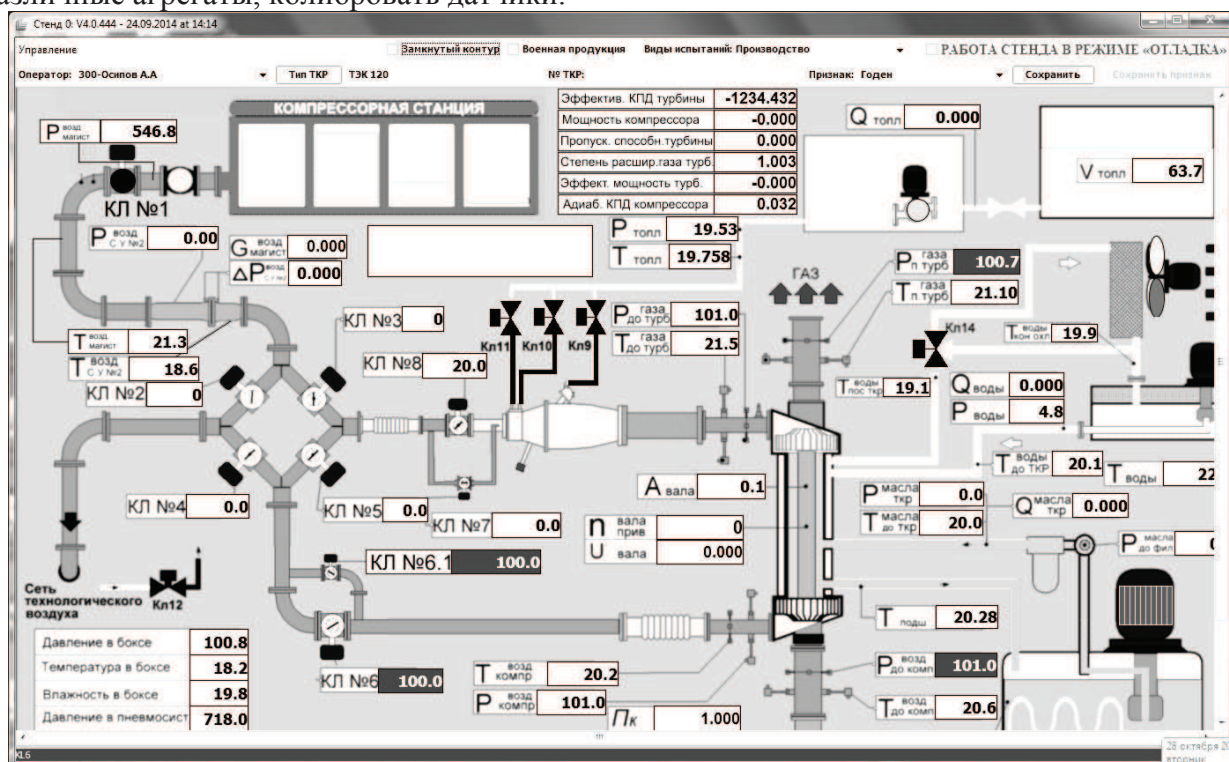


Рисунок 3. Экран панели

На пульт управления выведены все органы управления, необходимые для проведения испытания. Оператор сенсорной панели предпочитает пульт управления, так как с помощью энкодера легче подобрать необходимое положение клапана, но и пользуется автоматизацией, позволяющей поддерживать постоянные обороты ротора и обеспечивать постоянную температуру газа турбокомпрессора.

Для программирования контроллера используется среда разработки Automation studio 3.0.90, основной язык программирования – язык С. Программирование контроллера в первую очередь отличается от стандартного программирования тем, что написанный код будет выполняться в бесконечном цикле.

При создании экранов использовались специализированные программы для создания схем. С помощью Automation studio картинки оцифровывались и настраивались на визуальную передачу информации. При создании кнопок с шаблона экрана вырезалась кнопка и прикреплялась к объекту button.

По шине Х2Х дискретные и аналоговые устройства подключены к контроллеру. С их помощью осуществляется все управление техническим процессом. Сенсорная панель визуализирует текущее состояние контроллера, предоставляя управление. Компьютер по Ethernet

подключен к серверу, сервер подключен к АРМу (Автоматизированное рабочее место). АРМ визуализирует процесс испытания, позволяет сохранять результаты, рисовать графики испытаний.

Для поддержки постоянной температуры используется алгоритм, управляющий клапанами воздуха. В зависимости от текущей температуры шаг, с которым открывается клапан, изменяется (рисунок 4). Если разница больше 5 градусов, открывается или закрывается клапан 8, если меньше – клапан 7.

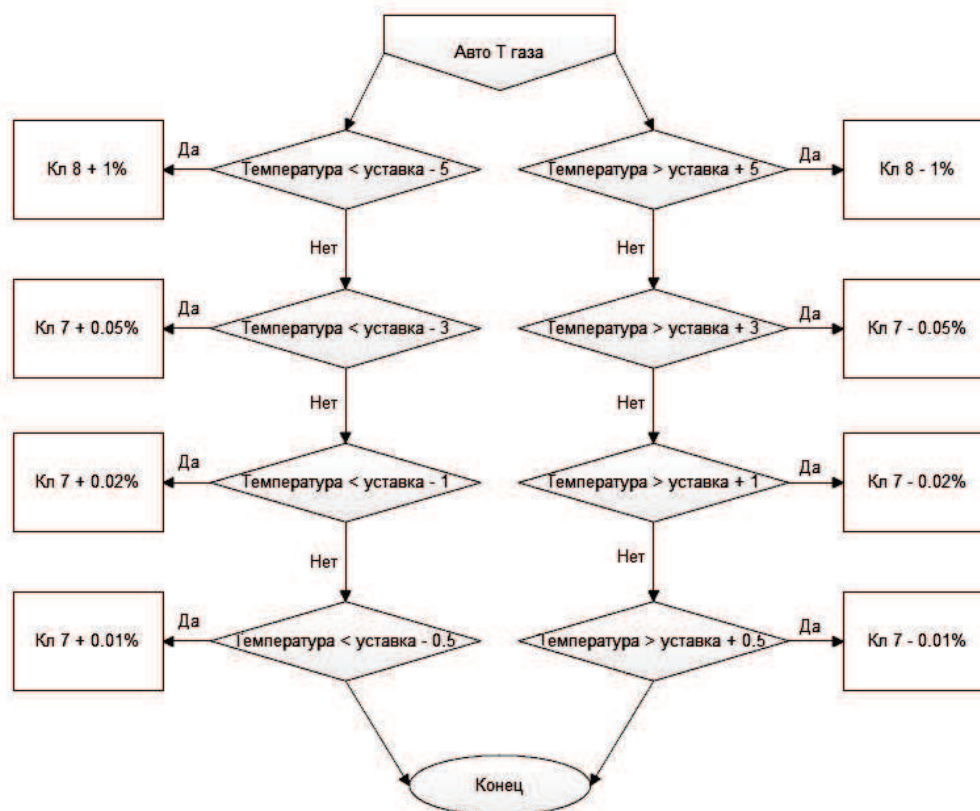


Рисунок 4. Стабилизация температуры газа

Создание подобного рода алгоритмов полностью исключает человеческий фактор, программа всегда правильно реагирует на то или иное изменение системы в рамках заложенного алгоритма

В результате проделанной работы стенд контрольно-исследовательских испытаний турбокомпрессоров СКИИТ № 5 был запущен в эксплуатацию. Алгоритмы обеспечения постоянной температуры газа и поддержки постоянных оборотов ротора были внедрены в эксплуатацию. Теперь значительную часть задач испытания на себя берет автоматизация, упрощая таким образом работу оператора. При этом повышается и безопасность испытаний, так как во многих аспектах исключается человеческий фактор.

#### Выводы

Проделана следующая работа:

- установлена и настроена среда Automation studio для работы с панелью-контроллером B&R 5PP520;
- настроена конфигурация под конкретные цифровые устройства;
- запрограммирована панель-контроллер B&R 5PP520, созданы все необходимые экраны;
- настроен обмен данными с сервером;
- запущен в эксплуатацию испытательный стенд СКИИТ №4;
- реализованы алгоритмы поддержки температуры и оборотов;

По результатам работы можно сделать вывод о том, что поставленные задачи выполнены.



### Литература

1. Каминский В.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В., Лазарев А.В. и др. Использование информационных технологий при контрольно-исследовательских испытаниях турбокомпрессора на безмоторной стенде. Сб. трудов VI Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». – Протвино. 2012. С. 467.
2. Каминский В.Н., Каминский Р.В. и др. Разработка программного комплекса для решения технологических задач ЗАО «НПО «Турботехника». Сб. трудов VI Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». – Протвино. 2012. С.467.

### **Многоцелевые высокоэффективные микротурбины**

доц. к.т.н. Костюков А.В., Горновский А.С., Косач Л.  
*Университет машиностроения*  
89154785532, kostukov123@yandex.ru

*Аннотация.* Приведены результаты разработки малоразмерного газотурбинного двигателя с эффективностью не ниже, чем у лучших поршневых ДВС. Показано, что применение в микротурбинах теплообменника со сверхвысокой степенью регенерации (95% и выше) позволяет поднять эффективный КПД малоразмерных газотурбинных двигателей до значений 38 – 43% .

*Ключевые слова:* высокоэффективная многоцелевая микротурбина, теплообменник со сверхвысокой степенью регенерации, центробежный компрессор, радиальная турбина, диффузор.

По данным недавнего отчета, опубликованного Минпромэнерго, к 2020 году выработают свой ресурс около 70% мощности ТЭС и ГЭС. Процессы модернизации электрического хозяйства и ввода в эксплуатацию новых мощностей не успевают за ростом потребления электричества. Будущее развития энергетической отрасли в России все чаще связывают с распределенной малой энергетикой. В качестве перспективных энергоустановок для малой распределенной энергетики рассматриваются работающие на дешевом топливе, природном газе, энергоустановки на базе поршневых газовых двигателей и микротурбин. Микротурбины имеют существенно меньшее техническое обслуживание и более дешевый капитальный ремонт. Так, у энергоустановок на базе поршневых ДВС интервалы между техническим обслуживанием составляют 250 – 500 моточасов. Текущий ремонт микротурбин Capstone (одна из ведущих фирм по производству микротурбин) осуществляется на месте установки через 8000 часов (один раз в год) и сводится к внешнему осмотру, замене или чистке воздушного фильтра. Стоимость капитального ремонта по истечении 8 лет составляет не более 30% от первоначальных инвестиций. У энергоустановок на базе поршневых ДВС стоимость капитального ремонта достигает 70 – 100% от первоначальных затрат на приобретение. Микротурбины также имеют недостижимую для поршневых двигателей экологическую чистоту и надежно, без снижения эффективности работают на бросовом топливе – малокалорийных газах (шахтные и др.). Эти качества вызвали в мире активный рост инвестиций в производство энергоустановок на базе микротурбин (в 1995 г. – около 100 млн. USD, а 2007 г. – около 940 млн. USD). Объем рынка энергоустановок на базе микротурбин в 2011 году составлял 8 млрд \$ США, а в 2015 году достигнет 17 – 18 млрд \$ США. К 2035 году U.S. Energy Information Administration прогнозирует прирост мощностей по микротурбинным установкам в США в размере 2,4 – 2,8 ГВт. Вместе с тем все более ужесточающиеся требования к автомобилям по экологии и успех в разработках высокоресурсных многотопливных экологически чистых энергетических микротурбин привели к появлению в мире (США, Европа, Япония) парка автобусов с работающей на природном газе гибридной силовой установкой, включающей малоразмерный регенеративный ГТД. Сегодня имеется тенденция к увеличе-