

УДК 629.7.036.3

СТРУЙНАЯ ПНЕВМОАВТОМАТИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЕЙ КОМПРЕССОРА В ГТД

Ю.А. Канунников

Акционерное общество «Омское машиностроительное конструкторское бюро»
Россия, 644116, ул. Герцена, 312
E-mail: sila@omsknet.ru

Н.В. Вологодский

Акционерное общество «Омское машиностроительное конструкторское бюро»
Россия, 644116, ул. Герцена, 312
E-mail: sila@omsknet.ru

Акционерное общество «Омское машиностроительное конструкторское бюро» (АО «ОМКБ») более 60 лет занимается созданием систем управления геометрией компрессоров и отборами воздуха из компрессора газотурбинного двигателя (ГТД). За эти годы накоплен значительный опыт в области создания пневматических агрегатов различного назначения, работа которых построена на взаимодействии потоков (струй) воздуха, также называемых агрегатами струйной техники.

Основными достоинствами пневматических агрегатов управления геометрией компрессоров ГТД (использующих в качестве рабочего тела сжатый воздух из компрессора ГТД), являются:

- возможность установки агрегатов в зонах с повышенной температурой до +350°C, что позволяет сократить длины трубопроводов, уменьшить вес систем автоматического управления (САУ);

- отсутствие необходимости применения специального механического привода повышает надежность САУ ГТД;
- нечувствительность к радиации позволяет применять пневматические устройства в зонах с радиационным заражением;
- отсутствие гидравлических трубопроводов снижает пожарную опасность двигателя;
- отсутствие уплотнений из резины обеспечивает простоту хранения и большой срок сохраняемости пневматических агрегатов;
- применение струйных элементов, не требующих высокой тонкости очистки рабочего воздуха, позволяет уменьшить вес и габариты агрегатов;
- использование газодинамической аналогии между потоками в компрессоре и струйном элементе позволяет создавать простые системы управления на базе разработанных струйных датчиков отношения абсолютных давлений (датчиков π_K – степени повышения давления воздуха в компрессоре ГТД, и датчиков $\pi(\lambda)$ – отношения статического к полному давлению).

В АО «ОМКБ» разработаны и серийно производятся пневматические агрегаты:

- автоматы управления клапанами перепуска воздуха (АУ КПВ);
- регуляторы перепуска воздуха (РПВ);
- регуляторы расхода воздуха (РРВ);
- регуляторы направляющих аппаратов компрессора (РНА);
- блоки резервного управления РНА (БРУ РНА) и блоки резервного управления КПВ.

На базе ранее разработанных агрегатов в настоящее время в АО «ОМКБ» ведутся работы по электроуправляемым пневматическим агрегатам, а именно:

- командным блокам подачи по электрической команде воздуха в управляющие полости пневмоцилиндров: управления КПВ, радиальными зазорами КВД, радиальными зазорами ТВД, охлаждением сопловых лопаток ТВД и др.;
- клапанам подачи воздуха в стартер двигателя;
- клапанам подачи воздуха в систему кондиционирования;
- агрегатам подачи воздуха в противообледенительную систему.

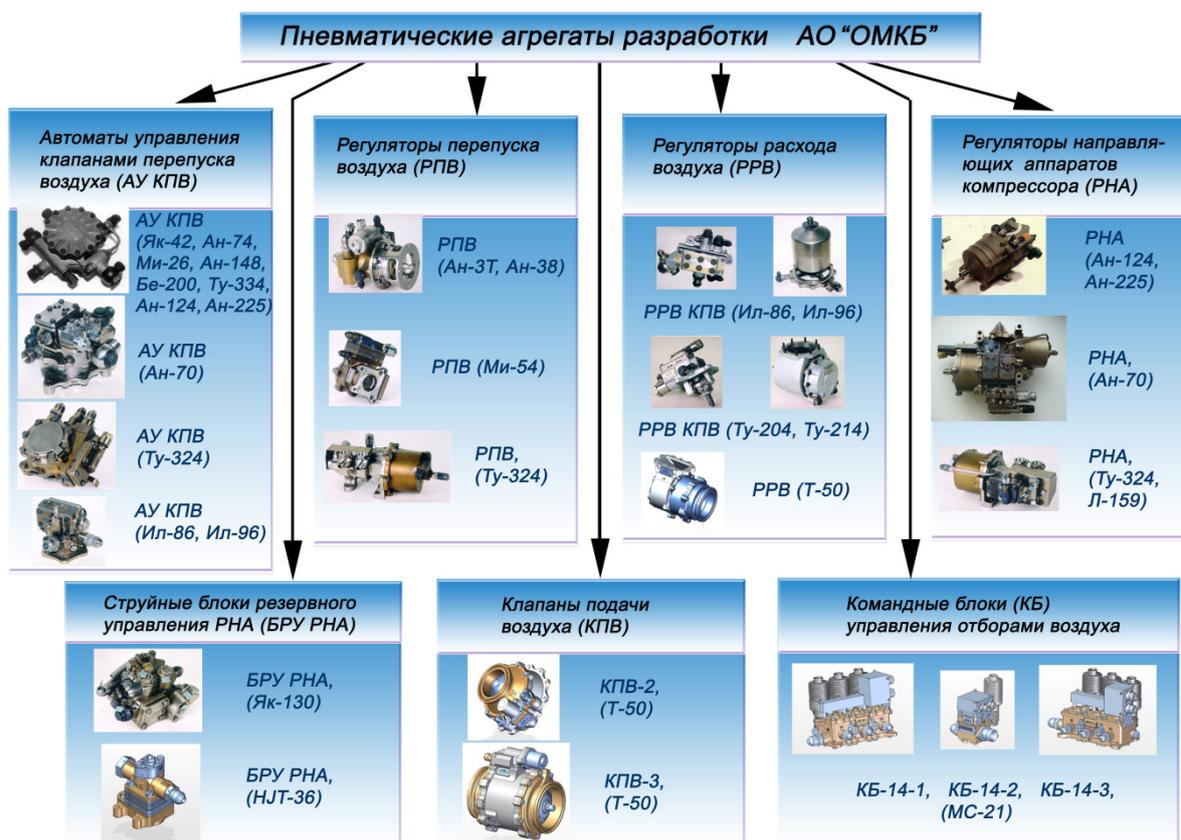


Рис. 1: Пневматические агрегаты, разработанные в АО «ОМКБ».

История становление струйной техники в АО «ОМКБ» формировалась следующим последовательности.

В доперестроечное (советское время) время АО «ОМКБ» Совместно с Институтом проблем управления РАН, «ЦИАМ», Казанским авиационным институтом и др. выполнили ряд научно-исследовательских работ по использованию внедрению струйной техники в авиационную практику. Изучались газодинамические процессы в струйных элементах, проводились работы по созданию датчиков температуры, расхода, датчиков π_k , $\pi(\lambda)$, помпажа, частоты вращения, работы по электропнеумо и пневмоэлектро преобразователям. Большой объем работ был выполнен по аналоговым и релейным струйным усилителям – известные в стране в то время струйные усилители работали при низких давлениях питания (порядка 400 мм вод. ст.), при температурах окружающей среды до 60 °С. В результате проведенных работ их рабочий диапазон по давлению был доведен до 40 кгс/см², а по температуре до +650 °С (диапазоны давлений и температур соответствуют возможным давлениям и температурам воздуха за компрессором ГТД).

Одновременно разрабатывались пневмоприводы, способные работать на воздухе с указанными выше параметрами.

Для обеспечения высокой герметичности струйных блоков (при повышенных температурах и давлениях) в течение десятков тысяч часов эксплуатации была внедрена диффузионно-вакуумная сварка. Против пылевой эрозии и образования надиров на поверхностях регулировочных элементов - освоено ионно-плазменное напыление рабочих поверхностей датчиков отношения давлений и пластин регулировочных элементов. Для выполнения в платах профилей струйных элементов и профилей отверстий регулировочных элементов – освоены процессы электроискровой обработки...

В результате решения указанных выше проблем, освоения новых технологических процессов были созданы первые пневматические агрегаты, в которых логическая часть выполнена на струйных элементах – логические операции выполняются посредством взаимодействия потоков воздуха, а конструкция выполнена по модульной технологии на плоских элементах (платах).

В 1977 году успешно прошел государственные испытания ГТД Д-36 (для самолета Як-42), на котором для управления КПВ из компрессоров среднего и высокого давления (КСД и КВД) были применены (впервые в отечественной практике) пневматические АУ КПВ – агрегаты 4017.11 и 4017.5, в которых логическая часть была выполнена на элементах струйной техники. С целью сокращения длины коммуникационных трубопроводов АУ КПВ размещены непосредственно на камере сгорания двигателя, где температура окружающей среды может достигать 350 °С, а воздух на питание агрегата отбирается со входа в камеру сгорания (из-за КВД двигателя, для определения текущей степени сжатия π_k) и его давление может достигать 27 кгс/см², а температура 560 °С. Данные агрегаты при достижении заданной степени сжатия соединяют управляющие полости КПВ либо с низким давлением (с окружающей средой), – обеспечивая открытие КПВ, либо с повышенным давлением за КВД или за КСД, обеспечивая закрытие КПВ.

В настоящее время модификации АУ КПВ используются в САУ двигателей Д-136, Д-18Т, Д-436 (на вертолете Ми-26, на самолетах «Руслан», «Мрия», Ан-148, Бе-200...)

В 1981 году прошел государственные испытания вспомогательный ГТД ВСУ-10 (для самолета Ил-86, Ил-96), на котором для управления КВП воздуха из промежуточной ступени основного компрессора установлен струйный блок управления, а для обеспечения беспомпажной работы приводного компрессора установлен регулятор расхода воздуха, поддерживающий неизменным параметр $\pi(\lambda)$ – постоянное отношение давлений на мерном устройстве – трубе Вентури, установленной в канале отбора воздуха от ВСУ.

В последствии были разработаны подобные регуляторы расхода воздуха для вспомогательных силовых установок ВД-100, ТА 18-200, ВСУ-117.

В 1985 году прошёл государственные испытания ГТД Д-18Т, на котором для управления геометрией компрессора установлены пневматические (струйные) агрегаты управления КПВ (4017.7 и 4017.13) и агрегат управления положением лопаток регулируемого входного направляющего аппарата компрессора (АУ РНА) – агр.4809).

Усилие, развиваемое пневматическим приводом агрегата АУ РНА, достигает 500 кгс. В агрегате имеется отрицательная обратная связь по положению выходного штока (по положению лопаток РНА) для обеспечения выполнения заданного закона регулирования. Подобные регуляторы РНА разработаны для двигателей АИ-22, АИ-25ТЛШ, Д-27.

В 2008 году прошел государственные испытания двигатель АИ-222-25 (самолет Як-130) с блоком резервного управления регулируемые направляющими аппаратами,

который предназначен для формирования и выдачи в гидравлический регулятор РНА управляющего сигнала для управления регулируемыми направляющими аппаратами при отказе основной электронной СУ РНА.

Агрегат представляет собой аналоговый регулятор с отрицательной обратной связью. В данном случае резерв постоянно включен, т.е. «горячий». Блок резервного управления (БРУ) РНА выполнен на струйном датчике отношения давлений и пропорциональном струйном усилителе. РНА содержит золотник обратной связи, работающий по положению РНА. В БРУ РНА совместно с гидравлическим регулятором РНА реализуется закон регулирования $h_{шт} = f(\pi_k)$, где $h_{шт}$ – перемещение штока РНА.

Кроме того, для двигателя АЛ-55И (самолет НТ-36) был разработан двухпозиционный резервный блок управления (РБУ) РНА, который на резервном режиме работы в зависимости от величины π_k выдает дискретный сигнал на перемещение штока гидроцилиндра управления РНА.

В настоящее время ведется разработка командных блоков для управления отборами воздуха от двигателя ПД-14, разрабатываемого для самолета МС-21. Изготовлены первые образцы агрегатов-демонстраторов электроуправляемых командных блоков, которые успешно проходят испытания в составе газогенератора двигателя ПД-14.

В 2012 году были разработаны электроуправляемый клапан подачи воздуха КПВ-3 в СКВ (для самолета Су-57). Данный агрегат разработан на базе ранее разработанного агрегата КПВ-2 (клапана подачи воздуха в СТВГ-117).

Пневматические агрегаты, разработанные в АО «ОМКБ», эксплуатируются на двигателях: Д-36, Д-136, Д-436Т1/ТП, Д-436-148, Д-27, Д-18Т, АИ-222-25, АИ-25ТЛШ, ВСУ-10, ТВД-20, ТА-18-200, АЛ-55И, ВСУ-117, СТВГ-117. Агрегаты управления КПВ за последние 25 лет эксплуатации не имели в полете ни одного отказа (их суммарная наработка превышает 20 000 000 часов). Надежность и качество пневмоагрегатов, созданных АО «ОМКБ», хорошо известны за пределами РФ.

На базе разработанных пневматических агрегатов (ПА) в настоящее время нами разрабатываются высоконадежные пожаробезопасные, нечувствительные к радиационному воздействию ПА для двигателей ПД-14, ПД-35, ПД-8В и других.