

# ГТУ-16ПМ с МЭКС вступила в строй

**М. А. Снитко, П. М. Морозов – АО «ОДК-Авиадвигатель»**

Согласно научно-технической политике ПАО «Газпром» в области газоперекачивающей техники, одним из направлений деятельности по обеспечению потребностей компании в современном высокоэффективном оборудовании является совершенствование экологических характеристик газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

**In brief**

**GTU-16PM with DLE combustion chamber entered service.**

According to the scientific and technical policy of Gazprom PJSC in the field of gas pumping equipment one of the activities aimed at meeting the company's needs for modern high-efficiency equipment is to improve the environmental characteristics of gas pumping units. The main environmental pollutants in the exhaust gases of a natural gas turbine unit are nitrogen oxides NO and NO<sub>2</sub> in combination with carbon monoxide CO. The last pollutant reflects the completeness of fuel combustion and directly affects the efficiency of a gas turbine.

Основными загрязнителями окружающей среды в составе выхлопных газов газотурбинной установки (ГТУ), работающей на природном газе, являются оксиды азота NO и NO<sub>2</sub> вместе с монооксидом углерода CO. Последний загрязнитель отражает полноту сгорания топлива и прямо влияет на КПД ГТУ, поэтому для современных ГТУ на основных режимах работы его концентрация находится на низком уровне.

Основным способом сокращения эмиссии оксидов азота является снижение температуры пламени. Этого можно добиться несколькими способами. Самым передовым способом снижения температуры пламени является сжигание обедненной топливовоздушной смеси, которая подготавливается в специальном смесителе (premixer) – технология сухого подавления эмиссии. Сжигание обедненной смеси существенно подавляет генерацию оксидов азота по термическому механизму, но значительное обеднение зоны горения приводит к увеличению эмиссии оксида углерода и снижению полноты сгорания. Поэтому в каждом конкретном случае отыскивается оптимум между эмиссией

NO<sub>x</sub> и CO. Преимуществом этой концепции является разрыв обратной связи между эмиссией оксида азота и оксида углерода по времени пребывания: когда термический механизм образования NO<sub>x</sub> подавлен, время пребывания газа внутри жаровой трубы (объем жаровой трубы) можно увеличить с целью повышения полноты сгорания и, как следствие, снижения уровня CO.

АО «ОДК-Авиадвигатель» (входит в Объединенную двигателестроительную корпорацию Ростеха) в сотрудничестве с ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» с 2013 года приступили к разработке технологии сухого подавления эмиссии для газотурбинных двигателей на базе ПС-90А. Ключевой заказчик продукции – ПАО «Газпром» – выступил в роли регулятора показателей будущего продукта, установив требования, соответствующие мировому уровню: NO<sub>x</sub> не более 50 мг/м<sup>3</sup>, CO не более 100 мг/м<sup>3</sup>. Выполнен колоссальный объем расчетных, конструкторских, экспериментальных работ по созданию и доводке прототипа МЭКС, определившего ее конструктивный облик. В результате в 2018 году было подписано с ПАО «Газпром» решение о порядке внедрения ГТУ-16П с МЭКС в составе ГПА, проведении приемосдаточных, предварительных, приемочных испытаний и дальнейшей эксплуатации. Для проведения эксплуатационных и ресурсных испытаний головного образца ГТУ-16ПМ с МЭКС был определен газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16ПМ с двигателем ПС-90ГП-2, установленный на КС «Чайковская» ООО «Газпром трансгаз Чайковский» – давнего и надежного партнера предприятий научно-производственного комплекса «Пермские моторы».

Для успешного внедрения ГТУ с МЭКС в состав ГПА на КС «Чайковская» специали-



Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16ПМ на базе газотурбинной установки ГТУ-16ПМ, оснащенной малозмиссионной камерой сгорания, КС «Чайковская»

стами пермского КБ разработан комплект конструкторской документации (КД), в том числе:

- технические условия на опытно-промышленную партию двигателей ПС-90ГП-2М;
- технические условия на доработку ГПА-Ц-16ПМ для ГТУ-16ПМ с двигателем ПС-90ГП-2М;
- комплект КД на модификацию серийного двигателя ПС-90ГП-2 с МЭКС (ПС-90ГП-2М);
- КД на комплект поставки материальной части для доработки ГПА-Ц-16ПМ под ГТУ с МЭКС;
- техническое задание на САУ ГТУ-16ПМ;
- руководство по технической эксплуатации ГТУ-16ПМ;
- комплект программ и методик проведения испытаний и определения характеристик ПС-90ГП-2М и ГПА-Ц-16ПМ после доработки под ГТУ с МЭКС.

При разработке документации все программы и методики прошли техническую экспертизу в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и согласованы с ПАО «Газпром».

Особенностью внедрения в эксплуатацию головного образца ГТУ-16ПМ с МЭКС стал тот факт, что малоэмиссионная камера сгорания была внедрена в конструкцию уже эксплуатируемого серийного двигателя ПС-90ГП-2, выработавшего к моменту доработки один межремонтный ресурс – 25 тысяч часов. Доработка двигателя под МЭКС выполнена на производственных мощностях АО «ОДК-Авиадвигатель» после прохождения капитального ремонта в серийном исполнении на заводе-изготовителе «ОДК-Пермские моторы». Объем доработки включал в себя замену узла серийной камеры сгорания на узел МЭКС, модернизацию соплового аппарата первой ступени турбины газогенератора, трубопроводных коммуникаций, электропроводки и теплозащитных экранов.

Параллельно с переоборудованием двигателя на КС «Чайковская» проведена доработка газоперекачивающего агрегата в части внедрения систем, обеспечивающих работу газотурбинной установки с МЭКС, в том числе:

- модернизация системы топливопитания ГТУ, включая агрегаты топливной автоматики;
- доработка контейнера турбоблока и электропроводки ГТУ;
- внедрение системы перепуска воздуха;
- модернизация системы зажигания;
- модернизация САУ ГПА (разработчик ПАО «Газпром автоматизация»);
- внедрение системы контроля пульсации давления в малоэмиссионной камере сгорания.

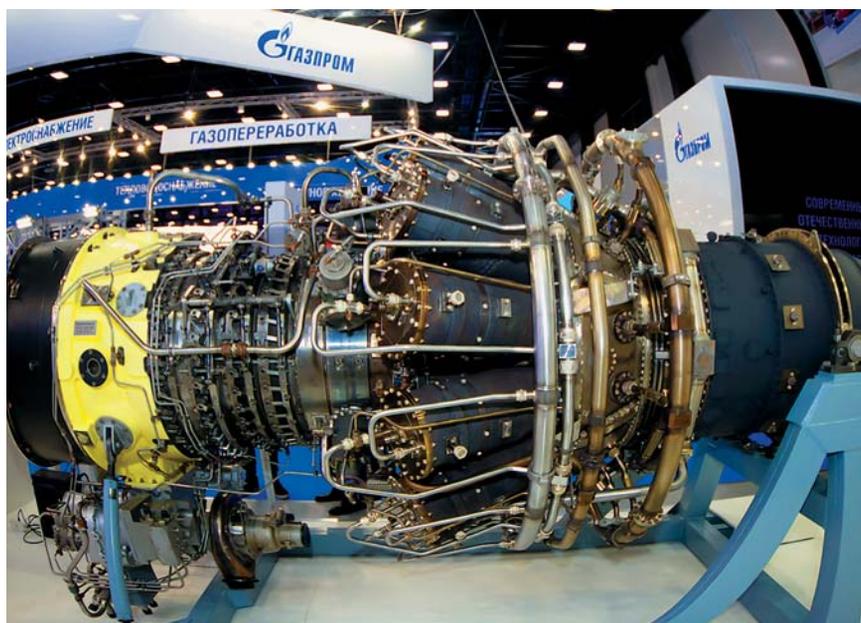


Следует отметить, что доработка ГПА также выполнялась на базе уже действующего агрегата, без его капитальной реконструкции.

После дооборудования под МЭКС в конце ноября-начале декабря 2020 года газогенератор двигателя прошел заводские приемо-сдаточные испытания на стенде АО «ОДК-Авиадвигатель». В соответствии с заключением ООО «Газпром ВНИИГАЗ», результаты испытаний подтвердили соответствие основных параметров двигателя и уровня эмиссии вредных веществ требованиям технических условий. Обеспечено содержание оксидов азота  $NO_x$  в отработавших газах (в «сухих» продуктах сгорания при  $0^\circ C$  и  $0,1013$  МПа и условной концентрации  $15\% O_2$ ) не более  $50$  мг/м<sup>3</sup>, содержание оксида углерода CO не более  $100$  мг/м<sup>3</sup>. Двигатель ПС-90ГП-2М

➤ Генеральный конструктор АО «ОДК-Авиадвигатель» Александр Иноземцев демонстрирует заместителю Председателя правления, члену Совета директоров ПАО «Газпром» Виталию Маркелову детали и узлы малоэмиссионной камеры сгорания

➤ Газогенератор ГТУ-16ПМ, оснащенный малоэмиссионной камерой сгорания. Петербургский международный газовый форум, 2019 г.





🔧 **Монтаж двигателя, оснащенного МЭКС, КС «Пермская» (ООО «Газпром трансгаз Чайковский»)**

с МЭКС рекомендован к проведению предварительных и приемочных испытаний в составе ГПА на компрессорной станции.

В декабре 2020 года на КС «Чайковская» проведены подготовительные пусконаладочные работы, которые включали:

- монтаж двигателя с МЭКС в состав ГПА-Ц-16ПМ;
- подключение систем, обеспечивающих работу ГТУ;
- опробование вновь установленного двигателя (холодные прокрутки, отладка запуска с выходом на режим «минимальный»);
- проверку работоспособности САУ и алгоритмов ее функционирования (проверку работы ограничительных контуров, систем встроенного контроля);
- настройку и отладку систем ГТУ.

В 2021 году на КС «Чайковская» в соответствии с комплектом программ и методик проведен комплекс предварительных испытаний, а также эксплуатационные 72-часовые испытания при работе в режиме «магистраль». По результатам проведения испытаний подтверждены следующие характеристики:

- теплотехнические характеристики (мощность на валу силовой турбины, эффективный КПД) соответствуют требованиям технических условий на двигатель;
- уровень эмиссии оксида азота и оксида углерода соответствует требованиям технических условий на двигатель ( $\text{NO}_x$  пр < 50 мг/м<sup>3</sup>, СО пр < 100 мг/м<sup>3</sup>);
- уровень пульсаций давления в КС соответствует требованиям технических условий на двигатель;
- обеспечен стабильный розжиг МЭКС и запуск двигателя при температуре атмосферного воздуха до  $-32^\circ\text{C}$ ;

- САУ ГПА обеспечивает выполнение требований технического задания по управлению и контролю параметров и режимов работы двигателя;
- замечания к работе комплекта аппаратуры контроля вибраций двигателя и пульсаций давления в МЭКС отсутствуют;
- уровень шумового воздействия ГПА на обслуживающий персонал соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических норм;
- эквивалентный уровень вибраций на площадках обслуживания ГПА при работе двигателя с МЭКС такой же, как и при работе двигателя без МЭКС, и не превышает предельно допустимую норму согласно ГОСТ 33877;
- потери полного давления в выходном устройстве при работе двигателя с МЭКС соответствуют характеристикам при работе двигателя без МЭКС.

Успешное завершение предварительных испытаний ГТУ с МЭКС в составе ГПА-Ц-16ПМ подтвердило, что за восемь лет работы удалось реализовать первую в России «сухую» малоэмиссионную камеру сгорания для газотурбинных двигателей на базе высокопараметрического двигателя ПС-90А в полном соответствии с требованиями заказчика и мировыми стандартами по экологии. Кроме того, данный опыт работ с ООО «Газпром трансгаз Чайковский» является ярким подтверждением того, что для соответствия самым современным экологическим требованиям не требуется кардинального перевооружения действующих компрессорных станций с ГТУ разработки АО «ОДК-Авиадвигатель», это возможно на базе уже эксплуатируемых установок.

Продолжением пройденных предварительных испытаний станут длительные испытания для подтверждения эксплуатационной надежности двигателя, а также приемочные испытания, в ходе которых будет повторно подтверждено соответствие техническим условиям теплотехнических, эмиссионных и других характеристик двигателя и газоперекачивающего агрегата.

В свою очередь, завершение длительных и приемочных испытаний станет основой для постановки ГТУ-16ПМ с двигателем ПС-90ГП-2М в серийное производство, в том числе изготовления новых установок с малоэмиссионной камерой сгорания для вновь вводимых в строй объектов заказчиков. Будет возможным переоборудование под МЭКС при очередном ремонте эксплуатируемых в настоящее время серийных ГТУ-16П с двигателями ПС-90ГП-2. 📄