

## Передовая газовая турбина T16 – новая разработка «РЭП Холдинга» и GE Oil & Gas

### In brief

**T16 advanced gas turbine is REP Holding and GE Oil & Gas novel solution.**

*The heavy-duty gas turbine rated at 16 MW was designed by REP*

*Holding engineers in cooperation with GE Oil & Gas to perfectly match Russian market requirements.*

*It is the first heavy-duty Russian-manufactured GTU within such power range.*

*The machine's cost effectiveness, performance efficiency and emission characteristics knows no equals in Russia.*

*T16 has a high efficiency and low level of polluting emissions. It is highly flexible for on-site service maintenance due to the modular service concept.*

*Advanced GTU system design allows easy access to GTU assemblies in order to enable proper on-site maintenance.*

**В. В. Спирин, С. К. Ерохин (к.т.н.) – АО «РЭП Холдинг»**

**А. А. Чернобровкин – GE Oil & Gas в России/СНГ**

На производственных площадках АО «РЭП Холдинг» выпущена первая в России стационарная газовая турбина мощностью 16 МВт, разработанная российскими инженерами в партнерстве с компанией GE Oil & Gas.

**П**роектирование и производство газотурбинной установки T16 – новый этап в реализации выбранной «РЭП Холдингом» стратегии, которая ориентирована на освоение передовых технологий и выпуск энергетического оборудования мирового уровня для объектов нефтегазовой отрасли и энергосистемы России.

Началом работы над ГТУ стало подписание 20 июня 2013 года лицензионного соглашения между компаниями GE Oil & Gas и «РЭП Холдинг» о совместном проектировании и производстве новой стационарной газотурбинной установки мощностью 16 МВт.

Новый проект стал логическим продолжением успешного сотрудничества с GE, которое «РЭП Холдинг» ведет с 2008 года в рамках локализации производства газотурбинной установки MS5002E, являющейся основой газоперекачивающего агрегата нового поколения – ГПА-32 Ладога.

### По мировым стандартам

T16 – это новая стационарная газотурбинная установка, полностью удовлетворяющая современным требованиям рынка по повышению КПД, снижению уровня вредных выбросов и повышению надежности.

В составе агрегата двухступенчатая турбина высокого давления (ТВД) с охлаждаемым лопаточным аппаратом и двухступенчатая турбина низкого давления (ТНД) с поворотными направляющими лопатками первой ступени (сопловой

аппарат с изменяемой геометрией), поддерживающая высокий КПД в широком рабочем диапазоне. Отбор мощности ведется с вала турбины низкого давления. В состав ГТУ также входит 12-ступенчатый осевой компрессор со степенью сжатия 19 и низкоэмиссионная камера сгорания.

Это первая стационарная ГТУ российского производства в таком диапазоне мощности, не имеющая аналогов в России по экономичности, эффективности и экологическим характеристикам. Конструкция агрегата обеспечивает его эксплуатацию в любых климатических зонах. (Технические характеристики ГТУ T16 приведены в табл. 1.)



### Преимущества газотурбиной установки Т16:

- большой ресурс работы – 200 000 часов;
- высокая эффективность газовой турбины – КПД 37 %;
- образцовые экологические характеристики – эмиссия  $\text{NO}_x$  не более 25 ppm;
- надежность;
- высокая экономичность установки при различных режимах работы;
- удобство технического обслуживания в условиях эксплуатации;
- возможность дистанционного контроля и диагностики;
- транспортировка в состоянии полной заводской готовности.

ГТУ Т16 отличается эксплуатационной гибкостью в широком диапазоне нагрузки. Турбина имеет встроенные устройства для дистанционного контроля и диагностики – они обеспечивают сбор комплексных данных и их передачу. Конструктивное исполнение ГТУ, а именно, компоновка на опорной раме, предусматривает боковую выкатку как газогенератора, так и турбины низкого давления, а также турбоблока полностью, что позволяет выполнять полноценное техническое обслуживание.

Агрегат может применяться в качестве механического привода компрессора или привода турбогенератора при строительстве и модернизации объектов энергетических и топливных компаний, а также в нефтегазовой отрасли.

### Т16: от идеи до выпуска

Турбина Т16 спроектирована инженерами АО «РЭП Холдинг» в партнерстве с GE Oil & Gas с учетом всех требований российского рынка. Освоение производства ГТУ характеризовалось принципиально новым уровнем

сотрудничества с компанией GE. В проекте по созданию Т16 холдинг был равноправным партнером, участвуя как в проектировании турбины, так и в ее изготовлении.

Специалисты предприятий холдинга выступили в качестве соавторов нового продукта. Таким образом, совместная работа с GE позволила «РЭП Холдингу» сформировать в России новые компетенции по проектированию оборудования.

При создании передового агрегата ГТУ Т16 объединились силы команды GE Oil & Gas и более 500 специалистов практически из всех подразделений холдинга и его предприятий – Института энергетического машиностроения (ИЭМЭТ), Невского завода и завода «Электропульт».

В ходе работы российскими специалистами были спроектированы следующие элементы, которые прошли полный производственный цикл на площадках «РЭП Холдинга»:

- турбина низкого давления, входящая в турбоблок (в партнерстве со специалистами GE Oil & Gas);
- вспомогательные системы ГТУ, включая стартовую систему, системы маслоснабжения, вентиляции и охлаждения ГТУ, топливного газа и т.д.;
- несущая рама газотурбинного двигателя;
- шумотеплоизолирующий кожух;
- электрическая обвязка ГТУ;
- система автоматического управления вспомогательных систем;
- испытательный стенд для комплексных испытаний под полной нагрузкой;
- газогенератор (посредством согласования его технических требований и основных параметров конструкции).

Весь процесс проектирования осуществлялся с применением самых современных методов

*Акционерное общество «РЭП Холдинг» – российский энергомашиностроительный холдинг, основан в 2004 году. Входит в структуру промышленных активов Банка ГПБ (АО). Осуществляет инженерные разработки, изготовление и комплексные поставки энергетического и электротехнического оборудования для газовой, нефтяной, металлургической и химической промышленности, для энергетики и электросетевого комплекса. Холдинг является ключевым российским производителем газоперекачивающего и турбокомпрессорного оборудования для крупнейших инфраструктурных проектов страны, лидером в сегменте промышленных газовых турбин и единственным в России производителем стационарных газовых турбин мощностью 16 и 32 МВт.*



Табл. 1. Технические характеристики ГТУ Т16

Параметры	Значение
Номинальная мощность, МВт	16,5
Максимальная мощность в стационарных условиях при отрицательной температуре наружного воздуха, МВт, не более	19,2
Номинальный КПД на муфте силовой турбины, %	37
Расход циклового воздуха (справочное значение), кг/с	53,7
Температура продуктов сгорания за силовой турбиной ном/макс, °С	492/600
Номинальная частота вращения ротора ТВД, об/мин	10 204
Номинальная частота вращения ротора ТНД, об/мин	7800
Степень сжатия	19
Схема двигателя: – количество валов – количество ступеней	двухвальная 12 ОК + 2 ТВД + 2 СТ
Направление вращения ротора ТНД (по ГОСТ 22378-77)	по часовой стрелке
Применяемое масло	ТП-22С
Стартер	электрический
Эмиссия NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	не более 50
Масса ГТД, т	58
Полный жизненный цикл, ч	200 000

«Все компоненты, узлы и системы спроектированной ГТУ Т16 объединены в многофункциональный агрегат для поставки заказчику в полной заводской готовности. Уникальность разработки заключается не только в длительном эксплуатационном ресурсе, но и высоком КПД – 37 % при образцовом низком уровне вредных выбросов. Высокая эффективность и экологичность новой ГТУ удачно сочетаются с удобством обслуживания в условиях эксплуатации», – отмечает главный конструктор турбин и турбоагрегатов «РЭП Холдинга» Сергей Ерохин.

компьютерного моделирования – ProEngineer, ANSYS и т.д.

При разработке конструкторской документации использовался опыт работы не только над газотурбинными установками Т32, которые сегодня успешно эксплуатируются на объектах ПАО «Газпром», но и над агрегатами, выпускаемыми Невским заводом ранее, такими как ГТК-10, ГТН-25, ГТНР-16.

Практически одновременно с проектированием велась технологическая и логистическая проработка, как неотъемлемая часть процесса для своевременного производства ГТУ Т16 на площадке Невского завода. Осваивались новые производственные процессы. В частности, сварочное подразделение освоило и изготовило раму-маслобак, являющуюся опорной конструкцией для всего оборудования ГТУ.

Завод «Электропульт» изготовил кожух шумоглушения, функционально отвечающий требованиям по обеспечению боковой выкатки турбоблока. На Невском заводе была проведена комплексная сборка изготовленной турбины низкого давления и ее стыковка с газогенератором. Оперативно и качественно выполнено агрегатирование этого весьма сложного объекта. По завершении этапа сборки турбоблока и агрегатирования ГТУ началась подготовка установки к стендовым испытаниям.

## Испытания с полной нагрузкой

Для реализации проекта на Невском заводе была создана передовая техническая база для комплексной проверки новой турбины. Проектирование и строительство испытательного стенда вошло в активную фазу в 2015 г. Комплекс, предназначенный для испытаний газотурбинной установки и агрегатного оборудования, максимально повторяет условия эксплуатации ГТУ Т16. Это позволяет проводить комплексные испытания агрегата под полной нагрузкой, протестировать работу всех систем и узлов и выполнить полномасштабную проверку работы ГТУ для гарантии ее высокого качества и надежности.

В состав испытательного стенда входят:

- воздухозаборная система, воздухопроводы циклового воздуха;
- выхлопная система;
- нагрузочные электрогенераторы (2 шт.);
- редуктор;
- САУ и КИП;
- системы вентиляции, пожаротушения, охлаждения корпуса турбоблока;
- система маслоснабжения, система топливного газа;
- система подготовки инструментального воздуха;
- устройство для боковой закатки и выкатки двигателя без разборки воздухопроводов.

Головной образец турбины Т16 уже прошел основную часть программы комплексных испытаний на Невском заводе, подтвердив соответствие экологических и эксплуатационных характеристик всем заявленным при начале проектирования параметрам (табл. 2). В настоящий момент идут испытания турбины в качестве энергетической установки.



Согласно разработанным программам и методикам, головной образец ГТУ Т16 прошел следующий цикл испытаний:

- проверку взаимодействия вспомогательных систем ГТУ (стартовой системы, системы маслоснабжения, топливного газа, вентиляции ГТД, КШТ, ПОС);
- механические испытания с нагрузкой и без нее, в ходе которых диагностировались характеристики роторов ТВД и ТНД на номинальных частотах вращения;
- теплотехнические испытания, определяющие мощностные характеристики и КПД установки в диапазоне нагрузки от 50 % до 100 %;
- испытания, фиксирующие содержание вредных выбросов в выхлопных газах в диапазоне нагрузки от 70 до 100 %.

### Эксплуатация и сервис

Благодаря рационально выбранной номинальной мощности – 16 МВт и частоте вращения выходного вала – 7800 об/мин, Т16 идеально подходит для современных компрессорных станций в системе магистральных газопроводов с рабочим давлением от 5,5 до 12,0 МПа. Кроме того, турбина может успешно применяться при строительстве и модернизации объектов энергетических и топливных компаний в составе ПГУ и ГТЭ.

ГТУ Т16 является примером передовых для российского рынка компоновочных, конструктивных и функциональных решений. Так, например, предусмотренная проектом система боковой выкатки двигателя позволяет оперативно извлечь газотурбинный двигатель из-под защитного кожуха и произвести его техническое обслуживание на объекте эксплуатации.



Табл. 2. Параметры Т16, приведенные к требованиям ИСО

Наименование параметра	Требования ТЗ	Полученные данные
Мощность на муфте силовой турбины, МВт	не менее 16,5	16,7
КПД, рассчитанный по мощности на муфте силовой турбины, %	не менее 37,0	37,2
Температура продуктов сгорания за силовой турбиной, °С	492	493
Частота вращения вала ТВД, об/мин	10204	10203
Частота вращения вала ТНД, об/мин	7800	7806
Расход воздуха осевого компрессора, кг/с	53,7	52,6
Степень повышения давления в осевом компрессоре	19	19,1
Содержание вредных выбросов в выхлопных газах ГТД, мг/м <sup>3</sup> :		
- оксидов азота	не более 50	48,7
- оксида углерода	не более 35	1,14

Двигатель Т16 – новый стандарт промышленных газовых турбин в классе мощности 16 МВт с длительным ресурсом и широкими возможностями по техническому обслуживанию на объектах эксплуатации. ГТУ предназначена для продолжительной работы (более 20 лет) в тяжелых условиях и с длительной нагрузкой. Она обладает лучшими экономическими и эксплуатационными характеристиками в своем классе. Одно из преимуществ энергоустановки – возможность комплексного обслуживания на территории клиента.

Весь цикл производства ГТУ, включая сборку и испытания, осуществляется на производственных площадках «РЭП Холдинга» в С.-Петербурге. Комплектные агрегаты, включая все вспомогательные системы и средства управления, будут поставляться заказчикам в состоянии максимальной заводской готовности. **Д**

*«Создание уникальной для российского рынка стационарной установки мощностью 16 МВт, без сомнения, усилит конкурентоспособность продукции «РЭП Холдинга». Сегодня холдинг может предложить рынку новейшие турбины Т16 – универсальные, экономичные и надежные установки, отвечающие уровню современных мировых стандартов, что позволяет выходить с этим продуктом, в том числе, и на зарубежные рынки», – уверен генеральный директор ЗАО «ИЭМЭТ» Василий Спириин.*

