

# Российские технологии и международное партнерство для проекта СПГ «Высоцк»

**С. К. Ерохин (к.т.н.), С. А. Никищенков, В. К. Юн (д.т.н.) – АО «РЭП Холдинг»  
Г. В. Гузев – Solar Turbines Inc.**

Реализуя высокотехнологичные проекты с применением российского оборудования, отечественные предприятия имеют возможность не только загружать свои производственные мощности, но и создавать образцы новой техники, осваивать передовые разработки мирового уровня.

**In brief**

**Russian technologies  
and international partner-  
ship for the project  
of Vysotsk LNG plant.**

*On June 2016, within the framework of St. Petersburg international economic forum, REP Holding and OMZ-Dealim LLC signed a contract to supply equipment for the first Russian medium-tonnage liquefied natural gas plant – Vysotsk LNG. The contract provides for manufacture and supply of two mixed refrigerant compressor units based on high-tech heavy-duty simple cycle gas turbines rated at 22 / 25 MW. They are produced under license from Solar Turbines.*

**В** июне 2016 года на Петербургском международном экономическом форуме АО «РЭП Холдинг» и ООО «ОМЗ–Делим» подписали контракт о поставке оборудования на первый российский среднетоннажный завод по производству сжиженного природного газа – СПГ «Высоцк».

Объект строится в порту Высоцк Выборгского района Ленинградской области. Проект реализуется на площади 54 га на острове Рюёвляинниemi. Терминал по производству и перегрузке СПГ включает в себя сооружение отвода от магистрального газопровода С.-Петербург – Выборг – Госграница. Предполагается также строительство причала и газораспределительной станции для последующей газификации Выборгского района.

Подготовительные работы начались в феврале 2016 года, а уже в марте приступили к строительству предприятия. Запланированная выработка составляет 660 тыс. тонн сжиженного газа в год. СПГ планируется поставлять потребителям Северо-Западного региона России, а также Скандинавии, принявшей

стратегическое решение о переходе с пропанбутана на сжиженный природный газ.

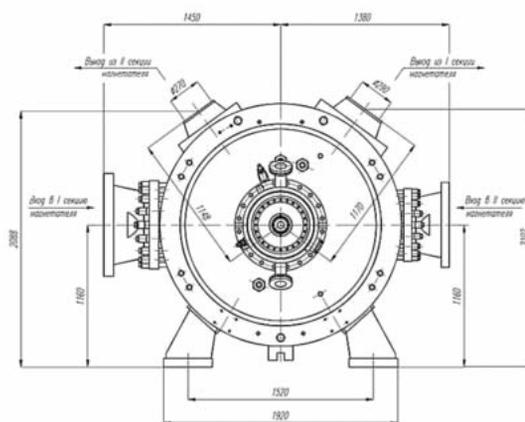
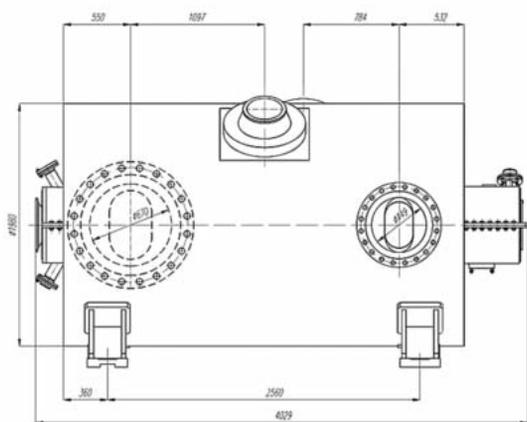
Инвестор строительства завода по производству СПГ в Высоцке – АО «Газпромбанк». Кроме денежных средств, он инвестирует в проект отечественное оборудование, изготовленное в том числе группой собственных промышленных предприятий, развивающих направление СПГ.

Заказчиком строительства выступает ЗАО «Криогаз», входящее в группу предприятий Газпромбанка. У «Криогаза» уже есть малотоннажные заводы в Псковской и Калининградской областях, будет построен завод в Карелии. Завод под Выборгом станет первым среднетоннажным проектом компании.

Генеральный проектировщик – АО «Гипрокислород», также принадлежащее группе Газпромбанка. Основной лицензиар проекта – французская компания Air Liquide.

Для строительства терминала создано совместное предприятие «ОМЗ–Делим», принадлежащее ПАО «Объединенные машиностроительные заводы» и корейской компании Dealim Industrial.





Контракт, заключенный между «РЭП Холдинг» и «ОМЗ–Делим», предусматривает изготовление и поставку двух компрессорных агрегатов смешанного хладагента (КАСХ) на базе стационарных газовых турбин простого цикла мощностью 22/25 МВт. Они производятся на предприятиях «РЭП Холдинг» по лицензии компании Solar Turbines. ГТУ обладают высокой производительностью, отличаются низким уровнем вредных выбросов. В основу одного из агрегатов войдет новейшая разработка «РЭП Холдинг» – центробежный компрессор смешанного хладагента с применением сухих газодинамических уплотнений.

Оборудование российского предприятия будет играть ключевую роль в технологической цепочке по производству и перегрузке сжиженного природного газа на территории порта «Высоцк».

В рамках договора с «ОМЗ–Делим Холдинг» выступает как разработчик-поставщик комплексного агрегата по сжатию газа. Компания выполнит комплексную поставку не только основного технологического оборудования – компрессора и ГТУ, но и всех вспомогательных систем, обеспечивающих жизнедеятельность агрегатов, их эксплуатацию и удобство обслуживания. Территориальная близость терминала к С.-Петербургу является дополнительным преимуществом с точки зрения обслуживания оборудования и организации работы персонала.

### Компрессорный агрегат смешанного хладагента

Компрессорные агрегаты смешанного хладагента поставки «РЭП Холдинг» будут применяться в технологическом процессе сжижения природного газа. Каждый агрегат представляет собой центробежный компрессор с приводом от газотурбинной установки, который оснащен всеми необходимыми вспомогательными системами, располагающимися в индивидуальном укрытии ангарного типа с прилегающими блоками-контейнерами.

Агрегаты будут выполнены на базе компрессоров производства GE Oil & Gas Nuovo Pignone и «РЭП Холдинг» и займут центральное место в технологическом процессе охлаждения газа. Компрессорное оборудование будет работать на две независимые технологические линии сжижения природного газа в замкнутом цикле хладагента.

### Компрессор

Специально для проекта «РЭП Холдинг» разрабатывает и освоит производство нового центробежного компрессора K905-71-1С, участвующего в холодильном цикле. Все узлы компрессора доказали высокую степень пригодности и надежности в составе компрессоров других типов. K905-71-1С – двухсекционный однокорпусный компрессор, содержащий 4 ступени сжатия в первой секции и 3 ступени – во второй (рис.). Технические характеристики компрессора представлены в табл. 1.

В компрессоре применяются передовые разработки, в частности, цельнофрезерованные осерадиальные рабочие колеса, производство которых освоено на Невском заводе (производственная площадка «РЭП Холдинг»).

Табл. 1. Технические характеристики компрессора

Наименование параметра	Значение на режиме	
	1-я секция	2-я секция
Производительность объемная, отнесенная к 0 °С и 0,1013 МПа, тыс. м <sup>3</sup> /ч	147,000	138,233
Производительность массовая, кг/ч	216600	192876
Производительность объемная, отнесенная к начальным условиям, м <sup>3</sup> /ч	54146	8077
Давление газа начальное, абсолютное, на входе, МПа	0,30	1,77
Давление газа конечное, абсолютное, на выходе, МПа	1,82	5,10
Степень сжатия	6,067	2,881
Температура газа при входе, °С	33,0	35,0
Политропный КПД, не менее	0,82	0,81
Мощность, потребляемая на муфте турбины, МВт, не более	17,4	
Частота вращения ротора, об/мин	6200	

В августе 2013 года было подписано соглашение о кооперации между компаниями «РЭП Холдинг» и Solar Turbines о локализации производства газовой турбины мощностью 22...25 МВт.

АО «РЭП Холдинг» локализует производство передовых разработок компании Solar для строительства и модернизации стратегически важных объектов нефтегазовой отрасли в рамках реализации программы долгосрочного сотрудничества «РЭП Холдинга» и «Газпрома» по расширению мощностного ряда газоперекачивающих агрегатов, а также на объектах энергетических и топливных компаний в России.

Согласно договору о совместной деятельности, производство газовых турбин осуществляется в три этапа на производственной площадке «РЭП Холдинга» – на Невском заводе в С.-Петербурге. Локализация включает передовые технологии в области разработки, экономного производства и методик контроля качества продукции.

В июне 2015 года на Невском заводе был открыт сервисно-логистический центр по обслуживанию всей продукции Solar на территории РФ. Достигнуто соглашение с Solar Turbines о полной передаче документации и технологии на проведение ремонтов, что обеспечит 100-процентную локализацию сервиса.

Табл. 2. Основные параметры газовой турбины Т25 на номинальном режиме согласно ISO

Параметры	Значение
Мощность на валу, МВт	22,4
КПД турбины, %	40,0
Расход уходящих газов, кг/с	68,24
Температура уходящих газов, °С	465
Степень сжатия	24
Расход топливного газа ( $Q_{рн} = 50\ 000$ кДж/кг), кг/с	1,11
Частота вращения выходного вала номинальная, об/мин	6300
Эмиссия (15 % $O_2$ , в сухих продуктах сгорания) оксидов азота и углерода, мг/м <sup>3</sup> *	<50

\* для газообразного топлива



Сборка ротора газовой турбины Т25

Создание нового типа компрессора является стратегически важным для дальнейшего развития отечественного компрессоростроения в области сжижения природного газа. В настоящее время Холдингом пройдены все этапы освоения изготовления компрессора К905-71-1С, согласованы проектные решения с заказчиком по его эксплуатации для СПГ. Испытание первого образца запланировано на март 2017 года.

## Газотурбинная установка Т25

В составе компрессорных агрегатов смешанного хладагента будут работать высокотехнологичные газовые турбины Т25 мощностью 22/25 МВт, производство и поставку которых осуществляет «РЭП Холдинг» в рамках лицензионного соглашения с компанией Solar Turbines.

Т25 – высокотехнологичная промышленная газотурбинная установка простого цикла, в данном классе мощности обладает высокой экономичностью (40 %) при низком уровне вредных выбросов (табл. 2).

В состав ГТУ входит:

- газотурбинный двигатель с системой запуска;
- топливная система, система масляной смазки;
- система управления Turbotronic 4;
- рама с маслобаком;
- входной патрубок воздухозабора турбины;
- выхлопной патрубок турбины;
- кожух шумотеплоизолирующий;
- система вентиляции;
- системы газо- и пожарообнаружения, пожаротушения.

Газовая турбина отличается высокой надежностью благодаря современным методам проектирования и применяемым технологиям в конструкции. Кроме того, она имеет лучший в своем диапазоне мощности механический КПД (40 %), высокую экономичность на различных режимах эксплуатации и большой ресурс работы (200 тысяч часов). Оперативная замена ГТД осуществляется за счет боковой выкатки на опорной раме.

## Газотурбинный двигатель Т25

Компрессор двигателя – осевой, 16-ступенчатый, с шестью рядами направляющих аппаратов изменяемой геометрии, включая ВНА. Корпус имеет вертикальный разъем. Номинальный массовый расход циклового воздуха – 67,3 кг/с. Компрессор имеет отборы на уплотнения вала за 9-й ступенью, на охлаждение соплового аппарата газогенератора за 11-й ступенью. Камера сгорания – кольцевая, с инжекционными топливными горелками, низкоэмиссионная, с сухим подавлением выбросов  $SoLoNO_x$ , с системой запальной горелки.

Существует возможность обслуживания топливных горелок на площадке.

Турбина газогенератора – двухступенчатая, с охлаждаемыми сопловыми и рабочими лопатками с термозащитным покрытием. Силовая турбина – трехступенчатая, с неохлаждаемыми сопловыми и рабочими лопатками и компактным радиальным выхлопом. Рабочие лопатки первой и второй ступени снабжены взаимосвязанными периферийными демпферными полками. Блок СТ поставляется полностью собранным и крепится газоплотным фланцевым соединением к заднему торцу корпуса турбины газогенератора.

ГТД Т25 оптимально подходит к потребляемой мощности компрессора, при этом КПД турбины в условиях площадки достигает 40 %. Широкий диапазон приемлемой теплотворности газа позволяет использовать в качестве топлива все утилизационные газы при производстве СПГ (отпарной газ, образующийся при нагревании СПГ, газ продувки холодильной установки и т.д.).

После подписания договора с «ОМЗ– Делим» о локализации производства Т25 специалисты «РЭП Холдинга» получили, адаптировали и русифицировали полный комплект технической документации в соответствии с первой фазой локализации. Выпустив конструкторскую документацию, Холдинг приступил к изготовлению ряда компонентов. В настоящий момент в производство запущены кожух шумоглушения и тепловой защиты, система боковой выкатки турбоблока, система вентиляции и охлаждения ГТУ, комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ), система выхлопа, приспособления для агрегатирования и выемки двигателя и др.

Кроме того, специалисты Холдинга создали систему автоматического управления агрегатами обоих типов, которая не только обеспечит работу КАСХ, но и синхронизирует ее с режимами работы терминала в целом. В рамках проекта СПГ «Высоцк» компания получила согласование Solar Turbines по замене определенных материалов российскими аналогами. По надежности и прочности они не уступают зарубежным, соответствуя всем принятым стандартам.

## Ресурсосбережение

При разработке проекта специалисты Холдинга активно реализуют принципы ресурсосбережения. Учитывая специфику работы ГТУ Т25, когда при температуре 500 °С большой объем тепла на выходе турбины уходит в атмосферу, для снижения эксплуатационных затрат принято решение эту энергию направ-

лять на подогрев различных теплоносителей. Это будет осуществляться соединением системы выхлопа и теплообменника с утилизатором тепла отработавших газов ГТУ. Таким образом, Т25 не только обеспечит работу компрессора, но и будет передавать тепло уходящих газов теплоносителям, которые могут использоваться в технологических процессах предприятия.

## Ремонтопригодность

С точки зрения ремонта, двигатель обладает высокой степенью ремонтопригодности. Работы по его восстановлению могут проводиться как на месте эксплуатации, так и на заводской площадке (в связи с территориальной близостью к объекту).

Благодаря интегрированной в систему управления ГТУ функции удаленного мониторинга и диагностики (Insight Connect), удастся достичь высочайших показателей готовности (свыше 98,6 %) и надежности (более 99,8 %). Нелимитированное количество пусков и остановов ГТУ исключает начисление «эквивалентных рабочих часов». Гибкий график техобслуживания с возможностью проведения основного ремонта «по состоянию» способствует увеличению межремонтных интервалов.

Возможность модульной замены двигателя и силовой турбины позволяет оперативно и качественно выполнить как плановые, так и внеплановые мероприятия по ремонту в условиях площадки заказчика. В отличие от магистральных газопроводов, где топливным газом является чистый газ из магистральной трубы, на СПГ «Высоцк» в качестве топлива может использоваться смесь нескольких составов газов, являющихся продуктом технологии.

## Производство

В проекте участвуют все предприятия Холдинга. Разработку ведет проектный Институт энергетического машиностроения, входящий в состав «РЭП Холдинга». На Невском заводе осуществляется производство и сборка агрегатов, проводятся их комплексные испытания. Электрическая часть и система автоматического управления изготавливаются на производственной площадке завода «Электропульт».

Поставка оборудования планируется во втором квартале 2017 года. После окончания строительных работ под контролем сервисных специалистов «РЭП Холдинга» будут проведены монтаж, пусконаладочные работы, испытания и запуск агрегатов. В 2018 году планируется ввести компрессорное оборудование в эксплуатацию. **Д**