

Газовая турбина Siemens SGT-100 в арктическом пэкидже

разработки и производства АО «Звезда-Энергетика»

М. С. Ташкинов – ООО «Сименс»

В. В. Дыльнов – АО «Звезда-Энергетика»

Компании «Звезда-Энергетика» и «Сименс» представили на рынке новый совместный продукт – блочную газотурбинную электростанцию мощностью 5,4 МВт. Энергоблок Звезда-ГТ-5000ВК-38МЗ, сочетающий в себе высокую эффективность газотурбинной установки и современную модульную конструкцию пэкиджа, может работать в суровых условиях Арктики и Крайнего Севера.

In brief

Siemens SGT-100 gas turbine plant in Arctic package developed by Zvezda-Energetika JSC.

Zvezda-Energetika JSC and Siemens presented to the market their common product, modular gas turbine plant rated at 5.4 MW. Zvezda-GT-5000VK-38M3 has high efficiency and modern modular construct can operate in severe Arctic conditions. The companies started the project of the plant development in 2013.

The plant is intended for the operation on the site of oil & gas companies. The main requirement for the project was the possibility of the plant to operate at the ambient temperature of

– 60 °C. The plant was developed on the base of Siemens SGT-100 gas turbine rated at 5.4 MW with thermal output of 9.4 MW.

Single-shaft gas turbine has simple construction and provides reliable load and unload processes. It is equipped with DLE combustion chamber. SGT-100 gas turbine compressor is 10-staged, transonic with overhung turbine. Under the development the parameters of the compressor were considerably improved.

В 2013 году компании «Сименс» и «Звезда-Энергетика» объединили усилия по созданию современной высокоэффективной модульной электростанции мощностью 5 МВт, которая впоследствии получила название Звезда-ГТ-5000ВК-38МЗ. Целью этого сотрудничества стала разработка конкурентоспособного продукта – так называемого арктического пэкиджа, предназначенного прежде всего для заказчиков нефтегазовой отрасли, основным требованием которых является размещение ГТЭС на открытой площадке и эксплуатация при температуре окружающего воздуха до –60 °С.

Компания «Сименс», искавшая в тот момент российского партнера для создания арктического пэкиджа, остановила свой выбор на предприятии «Звезда-Энергетика». Решающим фактором стал более чем 10-летний опыт компании в области разработки и производства модульных электростанций на базе газопоршневых, дизель-генераторных и газотурбинных установок. Причем более 200 объектов на базе энергетических агрегатов было реализовано в условиях Крайнего Севера. За время работы на российском энергетическом рынке предприятие заслужило среди заказчиков репутацию надежного и ответственного партнера.

В свою очередь, АО «Звезда-Энергетика» выбрало «Сименс» в качестве партнера, высоко оценив его лидирующие позиции на мировом и

российском рынке газовых турбин и широкий мощностной ряд газотурбинных установок. В основу арктического пэкиджа легла надежная, проверенная и эффективная газовая турбина SGT-100 (рис. 1). Парк данных установок превысил 400 единиц с суммарной наработкой более 24 млн часов.

В августе 2013 г. представители завода «Сименс» из г. Линкольн (Великобритания) посетили производственную площадку АО «Звезда-Энергетика» в С.-Петербурге, где ознакомились с возможностями и компетенциями компании по проектированию и производству оборудования. В ходе совещания стороны подробно обсудили концепцию арктического пэкиджа и план-график по разработке технической документации.

В феврале 2014 г. состоялся ответный визит специалистов АО «Звезда-Энергетика» в Линкольн, в рамках которого стороны детально обсудили текущее состояние дел по разработке пэкиджа. Кроме того, представители компании ознакомились с процессом производства газовых турбин SGT-100, процедурой их заводских испытаний и организацией последующего технического обслуживания.

В декабре 2015 г. состоялся заключительный этап – анализ проектных решений. Проектная бригада АО «Звезда-Энергетика» представила инженерам компании «Сименс» разработанную документацию и выполненные прочностные, газодинамические, теплотехнические и электротехнические расчеты, а также алгоритмы работы проектируемой электростанции. В результате работа получила высокую оценку, были выданы окончательные рекомендации по усовершенствованию конструкции.

Менее чем за три года интенсивной совместной работы был разработан новый продукт, имеющий в своей основе надежную и прове-

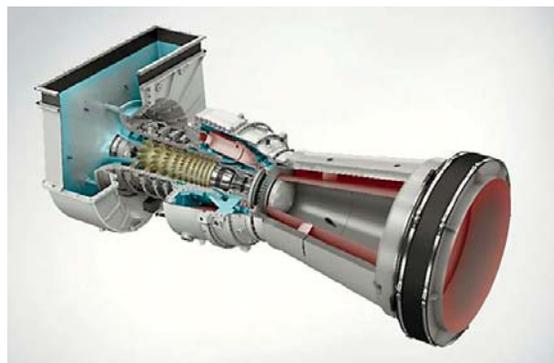


Рис. 1. Газотурбинный двигатель SGT-100 (вырез четверти)

ренную в эксплуатации газовую турбину SGT-100, а также воплотивший многолетний опыт «Звезды-Энергетики» по пэкиджированию энергетических агрегатов для эксплуатации в самых суровых климатических условиях.

На данный момент полностью разработана техническая документация по изготовлению энергоблока Звезда-ГТ-5000ВК-38МЗ. Это позволило обеим компаниям участвовать в текущих тендерах на поставку модульных ГТЭС и на равных условиях конкурировать с другими российскими и зарубежными производителями.

Промышленная ГТУ с высоким КПД

ГТУ SGT-100 имеет электрическую мощность 5,4 МВт и тепловую – 9,4 МВт. Газовая турбина отличается простотой конструкции: она состоит из одного ротора со сдвоенным подшипником, рассчитанным на тяжелые условия работы. Одновальная конструкция надежно обеспечивает прием и сброс нагрузки, что позволяет работать как параллельно с сетью, так и на изолированную электрическую сеть. В ГТУ применена новейшая низкоэмиссионная технология сжигания топлива DLE.

Компрессор имеет лопатки с малым удлинением профиля (широкохордные). Поворотные лопатки направляющего аппарата компрессора, оснащенные электроприводом, облегчают пуск и предотвращают помпаж. Они также используются для регулирования подачи воздуха в систему DLE. Горизонтально-разъемный корпус облегчает осмотр передней части компрессора при минимальной разборке.

Привод генератора осуществляется на холодном конце агрегата через планетарный понижающий редуктор. Выходная частота вращения редуктора – 1500 об/мин.

В SGT-100 новейшей версии применяется 10-ступенчатый околозвуковой компрессор с консольной турбиной. Показатели компрессора улучшены путем постепенного совершенствования отдельных элементов конструкции. Такой подход позволил внедрить последние технологические новшества без ущерба для основных преимуществ платформы SGT-100, таких как надежность и эксплуатационная готовность.

Характеристики компрессора были улучшены, в частности, за счет внедрения технологии трехмерного аэродинамического проектирования газовой динамики в диффузионном приближении. Эта технология использовалась при создании профиля лопаток первых двух ступеней компрессора с контролируемым расширением потока в межлопаточном пространстве, что уже успешно применялось в установках SGT-300 и SGT-400.



Рис. 2.
Камера сгорания турбины SGT-100

Двухступенчатая консольная турбина имеет околозвуковую скорость вращения. В первой ступени применяется воздушное охлаждение. Повышение КПД турбины обеспечивается уменьшением перетекания потока между ступенями и улучшенной организацией охлаждения лопаток первой ступени.

В турбине предусмотрены многочисленные лючки для бороскопического обследования, что дает возможность контролировать ее состояние без разборки. Современные технологии охлаждения, конструкции лопаток, применение коррозионно-стойких материалов и покрытий – все это позволило максимально улучшить рабочие показатели ГТУ и снизить затраты на ее обслуживание.

Камера сгорания DLE

Камера сгорания (рис. 2) имеет шесть секций, в которых можно сжигать различные виды жидкого и газообразного топлива. Корпус КС выполнен вертикально-разъемным, чтобы обеспечить легкий доступ к секциям и соединительным (переходным) каналам турбины. КС имеет следующие характеристики:

- наличие двойных стенок (в отличие от обычной КС), предусмотрены пусковая и основные горелки для каждого вида топлива;
- конструкция основных горелок позволяет получить пламя пониженной температуры, благодаря чему уменьшается количество NO_x в выхлопных газах;
- содержание CO в выбросах регулируется положением лопаток НА компрессора;
- в каждой камере предусмотрено устройство зажигания (запальник), все устройства соединены с одним источником питания;

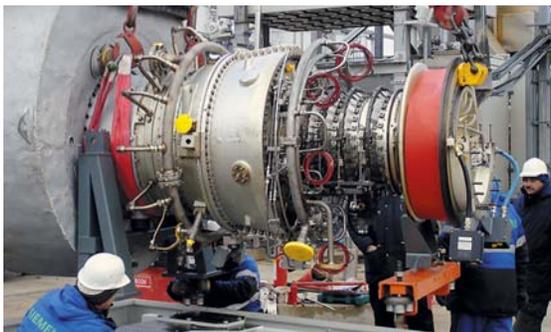


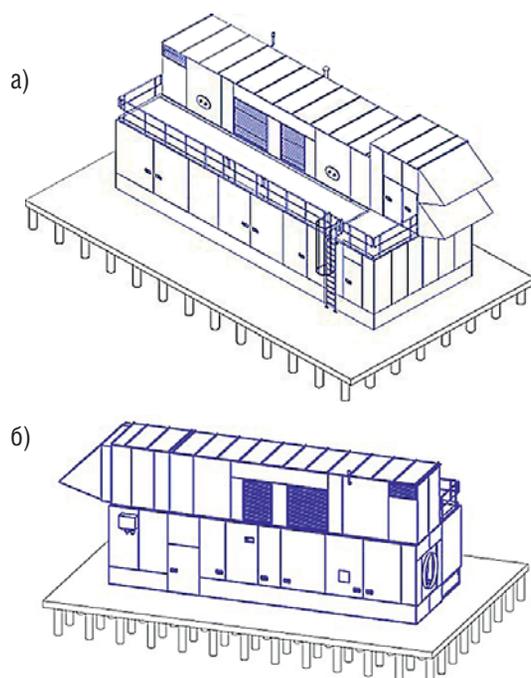
Фото.
Монтаж газотурбинной установки SGT-100

Рис. 3.

Внешний вид ГТЭС:

а) со стороны КВОУ;

б) со стороны силового модуля



- термопары пусковой горелки контролируют температуру на конце горелки;
- общая продувочная система обеспечивает чистоту (отсутствие продуктов сгорания) неиспользуемых каналов, а также всех имеющих каналов после останова двигателя.

Особенностью системы низкоэмиссионного сгорания является использование горелки, в которой сжигается предварительно подготовленная обедненная топливовоздушная смесь. Горелка для приготовления обедненной смеси представляет собой шайбу-завихритель, с подачей топлива непосредственно в завихритель через множественные каналы между его лопатками. Для розжига КС на запуске и предотвращения срыва пламени на переходных режимах небольшое количество топлива постоянно подается в пилотную горелку, расположенную по центру шайбы-завихрителя.

Таким образом, в КС реализуется равномерное поле температур, способствующее максимальному сгоранию смеси с минимальными выбросами. При этом система регулирования расхода вторичного воздуха при работе на частичной нагрузке обеспечивает оптимальный состав топливной смеси на различных режимах эксплуатации ГТУ. В результате SGT-100 имеет низкие показатели выбросов в максимально широком диапазоне рабочих режимов.

Двигатель имеет встроенную и единую с редуктором и генератором систему смазочного масла. Основной насос – с приводом от редуктора. Вспомогательный насос приводится от электродвигателя переменного тока, аварийный – от электродвигателя постоянного тока. Запускается ГТУ непосредственно через электродвигатель переменного тока с регулируемой частотой вращения.

Модульная ГТЭС Звезда-ГТ-5000ВК-38М3

Газотурбинная электростанция используется в качестве основного источника электроэнергии потребителями трехфазного переменного тока напряжением 6,3/10,5 кВ, частотой 50 Гц, в том числе в районах Крайнего Севера. В табл. 1 приведены основные технические параметры ГТЭС. Внешний вид станции приведен на рис. 3.

ГТЭС имеет климатическое исполнение ХЛ, категория размещения 1 по ГОСТ 15150.

Она состоит из модулей: силового отсека, отсека обслуживания, отсека управления, фильтров, вспомогательного модуля. В процессе работы над проектом Звезда-ГТ-5000ВК-38М3 выполнены необходимые инженерные проработки: технические условия на ГТЭС, прочностные, газодинамические, теплотехнические и электротехнические расчеты. Выполнен расчет

Табл. 1. Основные параметры и характеристики ГТЭС

Наименование параметра	Значение
Номинальная электрическая мощность на газе/дизтопливе, не менее, кВт	5264/5270
Кoeffициент полезного действия (электрический) на номинальном режиме, не менее, %	29,8
Номинальная частота вращения турбины/генератора, об/мин	17384/1500
Номинальный коэффициент мощности при индуктивной нагрузке	0,8
Номинальное напряжение, В	6300/10500
Режим нейтрали	Изолированная/резистивное заземление
Время пуска с выходом на режим холостого хода, не более, мин	5–6
Вид топлива	Природный газ, дизельное топливо
Масса ГТЭС, не более, кг	72 000
Потребление э/э на собственные нужды на рабочих режимах, кВт	140

Табл. 2. Габариты и масса модулей

Наименование параметра	Значение
Габариты модулей в транспортном состоянии, ДхШхВ, не более, мм:	
- газотурбинный агрегат SGT-100-1S	11450x2800x3300
- укрытие левое силового отсека	12050x1700x3580
- укрытие правое силового отсека	12050x1700x3580
- модуль отсека обслуживания	12050x2450x2780
- модуль отсека управления	5700x2850x2780
- подрамники отсеков обслуживания и управления, ограждения и лестницы, козырьки	12050x2850x2500
- вспомогательный модуль	12050x2900x2807
- модуль фильтров	3555x2900x2800
Масса модулей в транспортном состоянии, не более, кг:	
- газотурбинный агрегат SGT-100-1S	32500
- укрытие левое силового отсека	5000
- укрытие правое силового отсека	5000
- модуль отсека обслуживания	5400
- модуль отсека управления	5200
- подрамники отсеков обслуживания и управления, ограждения и лестницы, козырьки	3400
- вспомогательный модуль	11000
- модуль фильтров	4500

снеговых и ветровых нагрузок, категории помещений по НБП (ПУЭ). Выбор основного оборудования пэкиджа произведен в соответствии с требуемыми условиями эксплуатации станции, сформированы технические задания контрагентам на поставку вспомогательного оборудования и систем ГТЭС. Основные технические решения расчетов, алгоритмов работы согласованы с компанией «Сименс».

Модуль силового отсека

Модуль включает два укрытия – правое и левое (рис. 4). В модуле силового отсека установлен газотурбинный агрегат с системами жизнеобеспечения.

Несущий каркас укрытий выполнен сварным, из стального проката. Наружная стена отсека изготавливается из стального листа с атмосферостойким лакокрасочным покрытием. Внутренняя зашивка наружной стены отсека – из перфорированного листа, внутреннее стеновое пространство заполнено негорючим утеплителем. Для изготовления пола применен стальной лист с рифлением. Потолок отсека – из стального листа, внутренняя обшивка – перфорированный лист. Внутреннее потолочное пространство тепло- и звукоизолировано. Правое и левое укрытия силового отсека скреплены болтовыми стяжками.

Для определения достаточности воздухообмена, создаваемого системой вентиляции при граничных условиях, разработана модель воздушного потока внутри контейнера. Произведен прочностной, теплотехнический расчет (тепловых потерь), газодинамический расчет системы вентиляции, выбор требуемой производительности и кратности воздухообмена. Получены показатели температуры и скорости потоков воздуха в силовом отсеке.

Выполнены электротехнические расчеты нагрузок собственных нужд, освещенности, мощности на обогрев воздуха на вентиляцию, в т.ч. воздуха на горение.

Модуль отсека обслуживания

Модуль обеспечивает удобство технического обслуживания ГТД и генератора. Каркас отсека обслуживания, конструкция стен и пола выполнены аналогично конструкции модуля силового отсека. Крыша модуля тепло- и звукоизолирована, выполнена из стального листа с рифлением, внутренняя зашивка потолка – перфорированный лист.

Модуль отсека обслуживания устанавливается на подрамник и крепится к нему, а также к модулям силового отсека и отсека управления болтовыми стяжками. Подрамник крепится к фундаментной раме болтовыми стяжками.

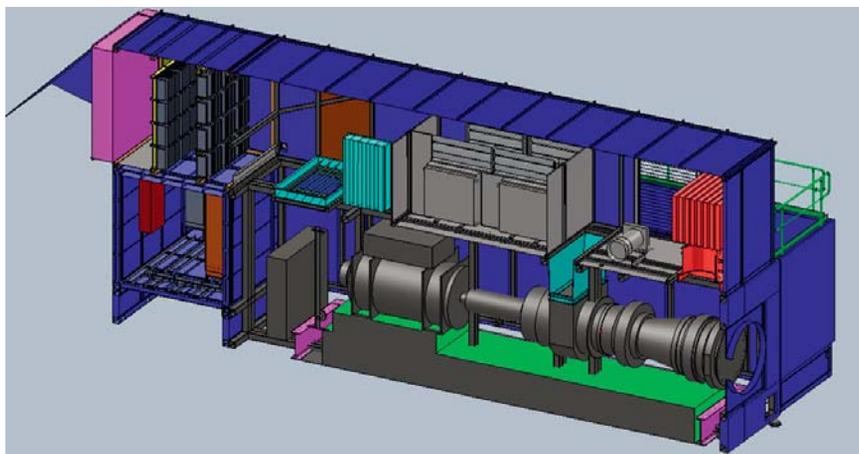


Рис. 4.
Расположение силового отсека в модуле ГТЭС

Конструкция подрамника и прочностной расчет согласованы с производителем ГТУ.

Так же, как в модуле силового отсека, в нем предусмотрены ворота и двери. В отсеке обслуживания установлены электрические нагреватели, светильники рабочего и аварийного освещения, баллоны с CO₂ АУПТ. Под потолком устанавливается таль грузоподъемностью 1000 кг для выполнения технического обслуживания и текущего ремонта ГТУ.

Модуль отсека управления

Конструкция отсека управления аналогична конструкции модуля отсека обслуживания. В нем расположены щит собственных нужд (ЩСН), панели системы автоматического управления ГТЭС, блок аварийного электропитания, панели управления подогревом воздуха, элементы системы газовой и пожарной безопасности.

Модуль фильтров

Система фильтра воздухаборника, установленная в модуле фильтров, снабжает газовую турбину воздухом, очищенным от механических примесей, а также обеспечивает транспортировку воздуха от воздухоборника до впускного короба низкого давления компрессора. Очистка от механических примесей необходима для минимизации эрозии, коррозии и загрязнения компрессора, а также для предотвращения попадания в компрессор посторонних предметов. Система оборудована шумоглушителем.

В модуле фильтров (рис. 5) установлены три ступени фильтров предварительной, гру-

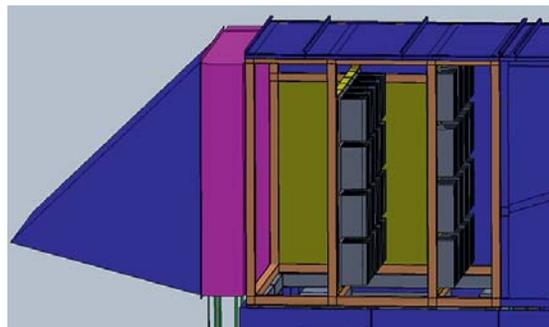
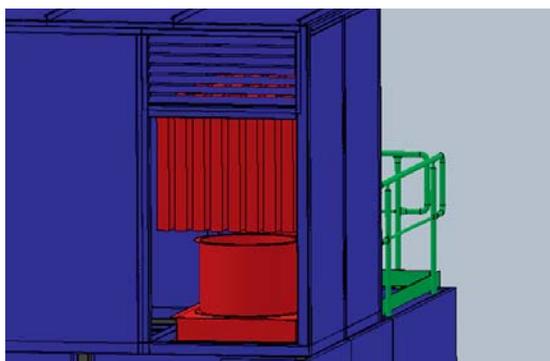


Рис. 5.
Модуль фильтров

Рис. 6.
Выпускной воздуховод



бой и тонкой очистки циклового воздуха. Канальный подогреватель обеспечивает подогрев циклового воздуха при наружных температурах ниже минус 40 °С, а также при опасности возникновения обледенения.

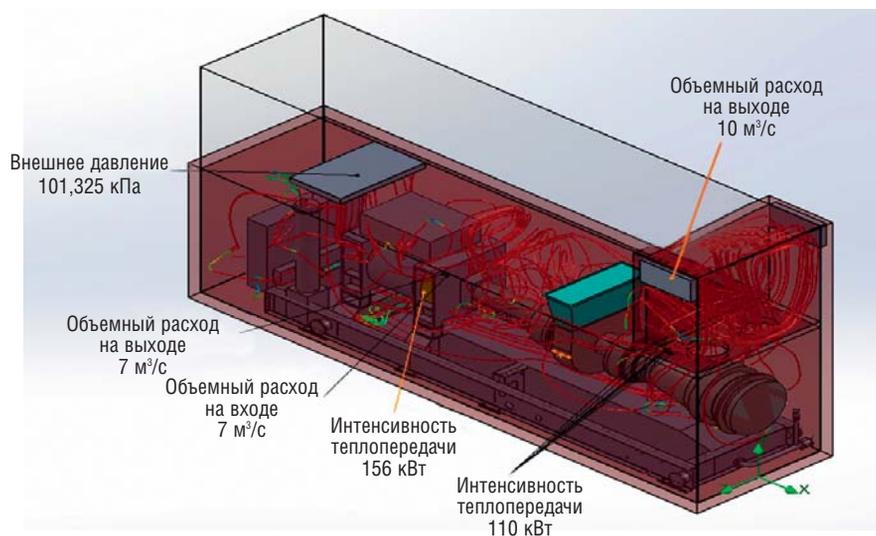
Электрические или водяные (их применение обусловлено контрактом на поставку ГТЭС) подогреватели системы фильтров предотвращают образование льда в фильтрах и на впуске компрессора, поддерживают номинальное значение температуры воздуха на входе в турбину. В модуле предусмотрены двери в отсек фильтров и отсек подогревателя циклового воздуха.

Допустимый перепад давления на входе в компрессор составляет не более 0,98 кПа. Произведены расчеты геометрии поворотных лопаток (проточной части), а также получены данные по перепадам давления входного тракта модуля фильтров. Данные выводятся в САУ ГТУ.

Вспомогательный модуль

Во вспомогательном модуле (верхний модуль) находятся элементы системы вентиляции силового отсека (фильтры, глушители, воздушные клапаны, канальный подогреватель воздуха, вентиляторы); канал подачи циклового воздуха с глушителем, поворотными лопатками; маслоохладитель с системой регулирования темпера-

Рис. 7. Распределение скоростей воздушного потока (вид со стороны выхлопа)



туры масла; воздухоохладитель системы продувки. Вспомогательный модуль оборудован техническими люками, что обеспечивает доступ к установленному оборудованию для проведения технического обслуживания и ремонта.

Система вентиляции

Система вентиляции снабжает отсек газовой турбины необходимым объемом воздуха для охлаждения и создания достаточного потока для получения неопасной зоны.

В соответствии с требованиями промышленной безопасности для отвода горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей система вентиляции оборудована аварийным вентилятором с автоматическим пуском. Он включается при превышении предельно допустимой концентрации (более 10 %), а также при остановке или неисправности основного вентилятора.

Таким образом, в помещении газовой турбины поддерживается температура не выше +59 °С, обеспечивается минимальная скорость воздушного потока (не менее 0,5 м/с), взрывобезопасность в зоне генератора, а также закрытие воздушных клапанов при включении системы пожаротушения. Поддерживается требуемое давление.

Особое внимание в ходе проектирования станции было уделено вентиляции силового модуля – как системе, влияющей на безопасность эксплуатации ГТУ. Выпускной воздуховод представлен на рис. 6.

Чтобы выполнить технические требования компании «Сименс», были реализованы соответствующие мероприятия, проведены варианты расчетов и моделирование процессов. Поле распределения скоростей воздушного потока (вид со стороны выхлопа) показан на рис. 7.

Система охлаждения масла

Система охлаждения масла предназначена для поддержания номинальных параметров температуры масла. В состав системы входят два воздушных охладителя, три клапана системы перепуска воздуха, электрические подогреватели маслоотсека, регулирующая арматура, САУ. Система охлаждения масла и охладитель системы воздухопродувки форсунок представлены на рис. 8, 9.

Система продувки воздуха

Система обеспечивает подачу воздуха для продувки форсунок при переходе с газа на жидкое топливо. Основные компоненты системы – охладитель и оборудование регулирования температуры, которые расположены на крыше отсека.

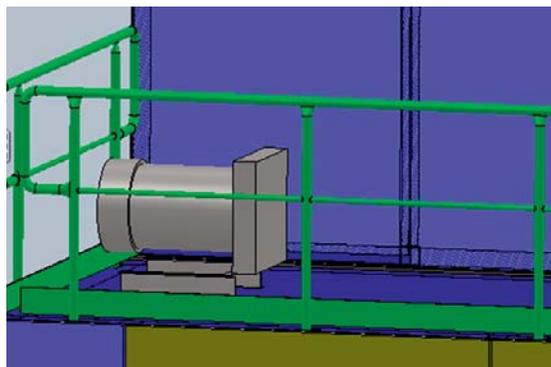
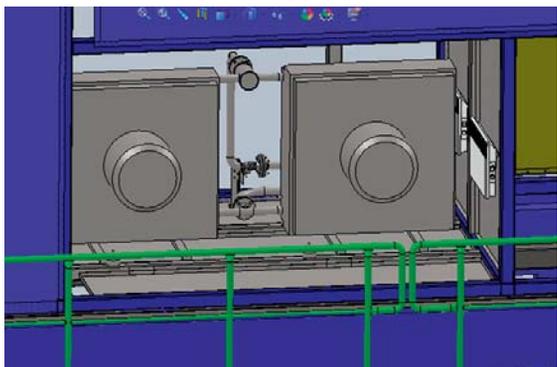


Рис. 8. Система охлаждения масла (перегородка отсека не показана)

Рис. 9. Охладитель системы воздухоподводки форсунок

Заключение

В заключение стоит еще раз подчеркнуть преимущества газотурбинной установки SGT-100:

- расширенные интервалы между техническим обслуживанием (8000 ч) и капитальными ремонтами (48 000 ч), продолжительный срок службы;
- применение подшипников скольжения – более простых и надежных по сравнению с подшипниками качения;
- единая система смазки (двигатель–редуктор–генератор), в которой применяется недорогое минеральное масло;
- высокий электрический КПД;
- большой опыт эксплуатации: на сегодня по всему миру и в различных климатических условиях работают более 400 установок SGT-100. Их наработка превысила 24 млн ч.
- простая одновальная конструкция обеспечивает устойчивую работу в условиях резких набросов/сбросов нагрузки;
- двухтопливная камера сгорания с сухим подавлением вредных выбросов, не требующая впрыска воды или пара для снижения уровня эмиссии.

Газотурбинную электростанцию Звезда-ГТ-5000ВК-38МЗ отличает модульная компоновка – для доставки основных элементов пэкиджа с установленным оборудованием требуется

всего три транспортировочных места. Современные компоновочные решения позволяют все оборудование разместить в пэкидже с минимальными внешними зонами обслуживания, который оснащен лестницами, проемами, проходами и площадками обслуживания.

Конструкция станции обеспечивает эксплуатацию, с учетом выполнения планового и экстренного технического обслуживания, в суровых климатических условиях без строительства машинных залов с системами отопления, вентиляции, пожаротушения, водоснабжения и канализации, что в итоге значительно повышает рентабельность проектов «под ключ».

В итоге новый продукт сочетает преимущества основного оборудования, изготовленного одним из мировых лидеров в производстве ГТУ – компанией «Сименс», и конструкторские решения АО «Звезда-Энергетика», уже зарекомендовавшие себя при эксплуатации на объектах РФ. ГТЭС адаптирована к российским условиям.

В настоящее время компании «Сименс» и «Звезда-Энергетика» ведут работу по созданию модульной электростанции мощностью 8 МВт на базе газовой турбины SGT-300. Планируется, что оба продукта будут востребованы российскими нефтегазовыми компаниями и промышленными предприятиями.

Siemens построит две электростанции комбинированного цикла в Израиле.

Компания заключила контракты на строительство двух электростанций комбинированного цикла Aton Tavor и Ramat Gabriel в северной части Израиля.

Aton Tavor будет вырабатывать электроэнергию и технологический пар для маслосырзавода, Ramat Gabriel – для нужд предприятия по производству стекловолокна. Электростанция планируется ввести в коммерческую эксплуатацию в середине 2018 года.

Для каждой ПГУ (электрической мощностью 70 МВт) Siemens поставит газотурбинную установку SGT-800, котел-утилизатор,

паровую турбину SST-300. Станции будут оснащены системой управления SPPA-T3000. Топливо – природный газ.

Проектом предусмотрен отбор пара для технологических нужд предприятий. Излишки электроэнергии будут продаваться в национальную энергосеть. Оборудование изготовят на предприятиях компании Siemens – в г.г. Финспонг (Швеция) и Брно (Чехия).

Siemens достаточно активна в данном регионе: в настоящее время более 40 % всей электроэнергии в Израиле вырабатывается с использованием оборудования компании.

