

Эксплуатационная гибкость в работе мини-ТЭС

Питер А. Прохазка – Compact Global Power Plant Products GmbH (Австрия)

In brief

CHP plant operational flexibility.

The rising market share of renewable energy leads to the discussion about co-gen or combined cycle. Quite a number of co-gen power stations have faced preservation, right after commissioning. A bypass system integrated between the gas turbine and the waste heat recovery boiler would have provided these power plants with the necessary flexibility to react to the ever changing electricity demand of the markets - would have made such power plant investments into much safer investments. Features like all time cold start availability, simple cycle operation to respond to grid demand, combined cycle at all time and grid stability by quick change over – this flexibility of a bypass system makes a modern gas turbine power plant into profitable investments. Compact Global is an aspiring company: innovative, ambitious, and meticulous in development. The power generation industry worldwide has confidence in its technology, it is new, different, reliable and based on millions of operating hours of experience. Customers appreciate Compact competence, latest and patented technologies, engineers' reliability and their creativity.

Постоянно растущая доля возобновляемых источников энергии в энергосистемах вызывает активные дискуссии о том, какие электростанции наиболее эффективны для обеспечения баланса в системе – когенерационные или комбинированного цикла. (Причем многие когенерационные электростанции были законсервированы сразу после ввода в эксплуатацию).

В связи с этим эксплуатационная гибкость мини-ТЭС, использующихся в энергосистеме, имеет очень большое значение. Байпасные системы, установленные между газовой турбиной и котлом-утилизатором, могут обеспечить таким электростанциям необходимый уровень гибкости при постоянно изменяющихся потребностях электроэнергии в энергосистеме.

Такие свойства байпасных систем, как возможность пуска из холодного состояния в любое время, возможность работы в зависимости от потребностей в энергосистеме как в простом, так и в комбинированном цикле, а также на различных режимах для поддержания баланса в энергосистеме – обеспечивают эффективность инвестиций при строительстве газотурбинных электростанций.

Compact Global является передовой, быстро развивающейся компанией, которая разрабатывает данные технологии. Ведущие энергетические компании во всем мире доверяют

нашим технологиям, которые доказали свою надежность и эффективность на протяжении миллионов часов эксплуатации. Клиенты компании высоко оценивают компетентность и креативность наших специалистов, передовые разработки и технологии.

Почему теряются мегаватты на утечках в диверторе

При остановках энергоблока для замены лепестковых уплотнений довольно ощутимой является потеря 8000–16000 ч эксплуатации. Новая система уплотнений устраняет данную проблему. Традиционная система уплотнений состоит из двойного затвора, выполненного из высококачественных сплавов для работы в условиях высокотемпературного и турбулентного потока газа. В точках контакта двойного затвора с крепежными элементами образуется специальная полость, которая заполняется уплотняющим воздухом с помощью нагнетателя. Уплотняющий воздух не фильтруется и подается прямо из окружающей среды при существующей температуре.

Двойные затворы, так называемые лепестковые уплотнения, имеют очень маленькую толщину на всем протяжении поворотной панели дивертора. Они ограничены по своей длине и перекрывают друг друга для обеспечения теплового расширения без деформации. Для предотвращения вибрации на верхней части основных уплотнений устанавливается дополнительное лепестковое уплотнение, что обеспечивает предварительное натяжение уплотнений. Это создает устойчивость к вибрации, которая вызывается высокоскоростным турбулентным потоком газа, проходящим по краям заслонки дивертора.

Установочные рейки крепятся к корпусу дивертора проходя насквозь через внутреннюю изоляцию. Их длина также ограничена для обеспечения теплового расширения без деформации. Поскольку лепестковые уплотнения перекрывают друг друга для устранения зазоров, установочные рейки имеют зазоры для



С Дивертор производства компании Compact

обеспечения пространства при их тепловом расширении.

Данные зазоры закрываются тонкими металлическими лентами для оптимального уплотнения. Диверторы, которые работают с приводом от коленчато-рычажного механизма, имеют внутреннюю структуру из П-образных профилей или двутавров. С обеих сторон сплошная заслонка крепится с помощью приспособлений, обеспечивающих ее температурное расширение. Она покрывает практически все поперечное сечение газохода выхлопных газов. У заслонки имеется теплоизоляционное покрытие, а у периметра канала – отсутствует. Соответственно, он подвергается воздействию горячих газов. Плоские рейки, которые являются креплением для лепестковых уплотнений, закреплены с помощью болтовых соединений на лопатке. Эти рейки также разделены, чтобы компенсировать их тепловое расширение.

Тепловое расширение

При проектировании конструкторы всегда стараются учитывать возможные тепловые расширения компонентов. Спроектированные зазоры для отдельных компонентов позволяют компенсировать расширение, вызванное резким повышением температуры при ударном нагреве. При этом компоненты из более тонкого материала расширяются быстрее, чем из более толстого.

Изоляционное покрытие заслонки, которое предотвращает теплопередачу, работает против общего контроля теплового расширения. Крепежные элементы, зафиксированные на холодном корпусе с одной стороны и подверженные ударному нагреву с другой стороны, в любом случае будут деформироваться. То же самое происходит и с плоскими рейками, которые удерживают лепестковые уплотнения.

Срок службы лепестковых уплотнений – 16000 часов, после чего они должны быть заменены. Любое повреждение уплотнений приводит к утечкам, что в результате ведет к потере мощности и избыточному нагреву котла-утилизатора при работе ГТУ в простом цикле.

Сокращение расчетного срока службы и потери мощности

Турбулентный поток воздействует на тонкие лепестковые уплотнения и заставляет их вибрировать. При этом уплотнения, которые прижаты к крепежным элементам, вибрации не подвержены. В режиме предварительного прогрева котла-утилизатора все лепестковые покрытия, установленные на поворотной панели дивертора, будут вибрировать, поскольку панель находится в промежуточном положе-

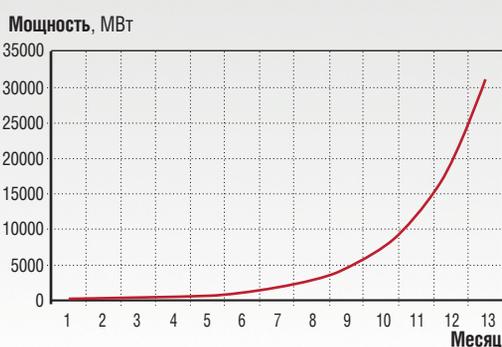


Рис. 1.
Потери мощности
с увеличением срока
эксплуатации

нии. Вибрация аналогична сгибанию / разгибанию скрепки для бумаг (в нашем случае лепестковые уплотнения), которая со временем сломается.

Электростанция SkikdaPowerPlant в Алжире была проинспектирована в 2015 году. Два энергоблока GE Frame 9FA находились в эксплуатации в течение 6 лет, каждые полгода оператор менял лепестковые уплотнения. Повреждения поворотных панелей диверторов были достаточно серьезные.

В соответствии с эксплуатационными данными температура в блоке пароперегревателя с дивертором на котел-утилизатор в закрытом положении составляла 405 °С и с дивертором в позиции байпаса – 465 °С. Расчетные потери составили 28 МВт.

Начальные потери в котле-утилизаторе мощностью 180 МВт могут составлять до 12 % (21,6 МВт) только по причине повреждений лепестковых уплотнений. Потери могут быть еще больше, если присутствуют повреждения поворотной панели дивертора или крепежных элементов. Как показано на рис. 1, потери увеличиваются в геометрической прогрессии, и уже после первых 12 месяцев эксплуатации они могут составлять 36 МВт-ч. В денежном выражении данные потери могут составлять до \$1 млн и даже больше. Износ начинается сразу после установки новых лепестковых уплотнений. При этом сразу же возникают утечки, которые увеличиваются в процессе эксплуатации.

В течение многих лет специалисты компании Compact Global проводили инспекцию многих объектов, собирали и систематизировали информацию по остановам ГТУ для планового технического обслуживания и ремонтов в случаях повреждений диверторов. В среднем, потери мощности после плановой замены лепестковых уплотнений заметны уже после двух месяцев эксплуатации.

Все изготовители диверторов используют одну и ту же конструкцию в течение 35 лет. Отсутствие новаторских подходов к данной проблеме приводит к тому, что все больше

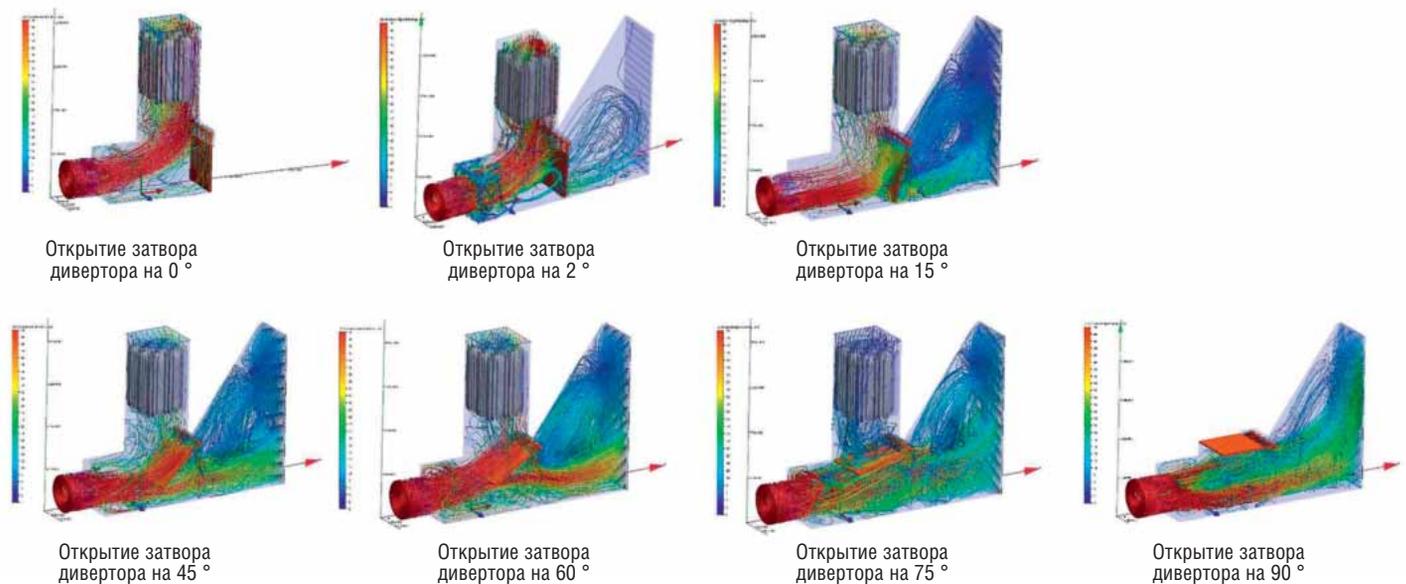


Рис. 2. Движение газового потока при различном открытии затвора дивертора

энергоблоков вводится в эксплуатацию без использования систем байпаса, что приводит к снижению эксплуатационной гибкости электростанций.

Решением проблемы является новая система уплотнений для диверторов. Она обеспечивает отсутствие вибрации, возможность регулирования в зависимости от поворотной панели дивертора. Отсутствуют изнашивающиеся компоненты.

В основе технологии лежит цельковая рама, на которой находится седло уплотнений. Рама крепится с помощью болтов к другой раме, которая приварена к холодному корпусу дивертора. Тепловое расширение контролируется с помощью овальных отверстий в поддерживающей раме. Уплотнительная прокладка между рамами обеспечивает герметичность газового канала и предотвращает теплоизлучение. На цельной раме установлены толстые уплотняющие пластины, которые расположены на расстоянии 0,1 мм от поворотной панели дивертора.

Gravimov – передовой дивертор компании Comrast

После ввода в эксплуатацию в 1996 году первых диверторов компании Comrast результаты были впечатляющими. По результатам эксплуатации была подтверждена надежность и эффективность поворотной конструкции дивертора. Данная конструкция обеспечивает:

- отсутствие внутреннего соединения рычага коленчато-рычажного механизма;
- отсутствие греющихся подшипников;
- отсутствие холодного вала, поскольку поворотная пластина находится в закрытом положении байпаса.

Дивертор третьего поколения (3.0) – последняя разработка компании, является ключевым элементом в технологии выхлопных систем. Благодаря сбалансированной силовой установке дивертора, отпадает необходимость в использовании гидравлических приводов в выхлопных системах. Учитывая снижение энергопотребления установки для собственных нужд, затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, использование диверторов в выхлопных системах является значительным вкладом в экономию инвестиций.

Преимущества системы:

- сбалансированная работа при любом регулируемом положении угла – технология сбалансированного привода;
- отсутствие вибрации при регулировании без ограничений положения;
- оптимальное распределение потока для лучшего прогрева котла-утилизатора;
- снижение расхода топлива в связи с сокращением времени прогрева КУ;
- минимальные затраты на ТО.

Поворотная заслонка дивертора обеспечивает пространство для перепуска потока выхлопных газов в любом регулируемом положении за счет пространства между верхней частью заслонки и валом. Эффективность регулирования существенно повышается путем увеличения потока на верхней части заслонки и по ее сечению. В результате заметно снижается время, необходимое для прогрева КУ. На рис. 2 показано движение газового потока при различных углах открытия дивертора.

Поток равномерно распределяется по всей поверхности котла-утилизатора для оптимального предварительного прогрева его компонентов. В результате заметно снижается расход

топлива электростанций, работающих в базовом режиме. Модуль Gravimov обеспечивает отсутствие вибрации в любом из регулируемых положений угла в диапазоне 0...90°.

Оптимальное распределение потока в каждом модуле, поставляемом заказчику, проверяется с помощью компьютерного моделирования (CFD). При этом достигается оптимальное распределение потока газов, а также минимальный уровень противодействия. Все значения параметров и необходимые установки зафиксированы в технической документации, подготовленной отдельно для каждого продукта компании.

NEVEXseal™ – новая технология уплотнения

Длительное время было потрачено на поиски оптимального решения для замены лепестковых уплотнений. В результате было разработано цельное седло уплотнений свободного потока. При его использовании уплотнения не требуют технического обслуживания в процессе эксплуатации. Передовая технология NEVEXseal™ позволяет решить все проблемы и обеспечить 100 %-ю эффективность уплотнения на протяжении всего срока службы.

Данная технология может применяться на любых диверторах – поворотных или с коленчато-рычажным механизмом. После установки уплотнений NEVEXseal™ нет необходимости в техническом обслуживании на протяжении всего срока службы (25 лет). Кроме того, существенно повышается эксплуатационная готовность энергоблоков, поскольку не требуется остановов для замены лепестковых уплотнений.

Стоимость замены лепестковых уплотнений на NEVEXseal™ различна в зависимости от типа энергоблока и размеров дивертора. Например, для замены дивертора газовой турбины GE Frame 9E необходимо 10 дней при работе в две смены. Стоимость оборудования составит \$150 000. Если добавить стоимость работ (2000 рабочих часов), а также дополнительные расходы, общая стоимость проекта составит \$250 000.

Потери мощности приводят к большим дополнительным затратам на топливо. Учитывая отсутствие простоев оборудования для замены уплотнений, что экономит более 36 000 МВт·ч, окупаемость оборудования NEVEXseal™ составит три месяца.

При использовании данной технологии обеспечивается минимальный поток выхлопных газов к котлу-утилизатору. При этом возможно положение панели дивертора на расстоянии всего нескольких миллиметров от седла уплотнений и поддержание котла-утилизатора в прогретом состоянии для быстрого пуска любой

электростанции комбинированного цикла. Технология NEVEXseal™ повышает эксплуатационную гибкость энергоблока и обеспечивает работу в новых режимах.

Resonabtor – система шумоглушения выхлопа

Компания поставила перед собой задачу разработать более компактный блок шумоглушения с лучшими динамическими характеристиками потока, с меньшим температурным удлинением и механическими нагрузками, более экономичный и требующий меньшего технического обслуживания в процессе эксплуатации. Компактный блок шумоглушения Resonabtor имеет меньший вес, обеспечивает меньшее снижение эксплуатационных параметров энергоблока в процессе эксплуатации во всем диапазоне частот.

Трехмерное поглощение звука. Комбинация резонатора и абсорбера, имеющего различную высоту и ширину, обеспечивает эффективное снижение звуковой нагрузки высоких и низких частот.

Устройство спрямления потока. Конструкция блока шумоглушения Resonabtor, по сравнению с предыдущими конструкциями, значительно снижает падение давления благодаря эффекту спрямления потока. К настоящему времени установлено более 1000 таких блоков. Блоки шумоглушения Resonabtor используются практически на всех типах газовых турбин и демонстрируют очень хорошие результаты. Высокие эксплуатационные параметры ГТУ обеспечиваются за счет уменьшения падения давления в блоке. Resonabtor является оптимальным решением для модернизации существующих энергоблоков.

Отражение, дифракция и поглощение. Resonabtor является комплексной и высокоэффективной системой лабиринтного типа. Дифракция – это процесс, который дает возможность звуковой энергии распространяться по профилю канала и уводит звуковую волну в теньевую зону. Длинные низкочастотные волны изгибаются сильнее, чем высокочастотные. Они направляются в следующую поперечную секцию абсорбера. Дифракция на краю означает экспоненциальное разделение на части с теми же частотами, которые накладываются в соответствии с распределением прямого пучка. Встроенные резонаторы Хелмгольца дополнительно снижают низкие частоты.

Параметры блока шумоглушения. В условиях постоянной смены режимов работы энергоблока, высокой температуры, турбулентного потока снижение собственной шумовой нагрузки в связи с высокими скоростями пото-

ка газа – это минимальные требования к блоку шумоглушения. Кроме того, необходимо снижение уровня шума от газовой турбины. Благодаря конструкции Resonablog поток газа с более высокой скоростью концентрируется в центре газохода. Скорость потока на выходе из дымовой трубы снижается. Боковой поток по корпусу характеризуется ограниченным распространением звука благодаря сдвиговым слоям потоков с различными скоростями. Шумовая нагрузка потока на выходе из дымовой трубы значительно уменьшается.

Внутренняя изоляция quiteCool. В конструкции количество крепежных болтов к холодному корпусу сокращено на 50 % с целью минимизации теплопередачи и структурного шума. Уровень шума на расстоянии одного метра составляет 72 дБ, теплопередача – менее 240 Вт/м² при температуре наружного корпуса около 55 °С.

В связи с мембранной конструкцией, которая образуется при закреплении, листовые маты могут колебаться. Ребра жесткости на задней части удерживают изоляционный материал, в результате амплитуда колебаний мембраны снижается. Частоты в диапазоне 16...500 Гц эффективно подавляются.

Система выхлопа PASC & GO

В модульной системе разделение целого на части не является сложным – сложной является систематизация этих частей. Достоинством конструкции выхлопной системы является простой монтаж. Панели доставляются на площадку в транспортировочных стойках – круглые или прямоугольные секции, готовые к монтажу. Только в угловых панелях присутствуют болтовые соединения с уплотнениями на кромках.

При монтаже системы выхлопа не требуется сварочных работ, что гарантирует качество сборки и обеспечивает экономию затрат. Панели легко транспортируются, при этом они комплектуются в подъемные стойки для многократной логистической обработки. Стандартный морской контейнер для доставки панелей экономит время и средства.

Более чем 30-летний опыт работы на объектах заказчиков, профессиональный инжиниринг и новаторский подход к решению поставленных задач – существенный вклад Cotract Global в реализацию проектов по строительству газотурбинных электростанций.

Компанию отличают честность в отношениях с клиентами, высокая компетентность в области инжиниринга, стремление к новому и энтузиазм в работе. 

Компания «БПЦ Инжиниринг» реализует проект в Узбекистане.

Контракт на изготовление и поставку электростанций ENEX заключен с НХК «Узбекнефтегаз». Проект реализуется в рамках глобального партнерства по сокращению сжигания попутных газов (GGFR) под эгидой Всемирного банка.

Компания «Узбекнефтегаз» ограничивает сжигание ПНГ в факельных установках. С этой целью на ДКС «Шуртан» будут установлены две микротурбинные электростанции ENEX 1000 электрической мощностью по 1000 кВт. Еще четыре комплектные электростанции (одна ENEX 65 и три ENEX 130) будут установлены на месторождениях УДП «Шуртаннефтегаз» для утилизации попутного газа. Вырабатываемая электроэнергия будет использоваться для собственных нужд объектов. Совокупная электрическая мощность электростанций, поставляемых в рамках контракта, составит 2455 кВт.

Электростанции ENEX 65/130 изготовят на базе микротурбин С65 (Capstone) мощностью 65 кВт и укомплектуют дожимными винтовыми компрессорами COMPEX 4 для работы на ПНГ. Станции со всеми необходимыми системами жизнеобеспечения и безопасности будут размещены в едином контейнере.

Ввод электростанций позволит НХК «Узбекнефтегаз» в общей сложности утилизировать более 7 млн м³ попутного нефтяного газа в год. Выработка электроэнергии на собственные нужды из попутного газа, который ранее сжигался в факелах, сократит энергоемкость производства и снизит объем вредных выбросов в атмосферу.

Siemens ввела в коммерческую эксплуатацию одну из самых эффективных электростанций в Австралии.

Проект реализован в рамках контракта, заключенного с компанией Diamantina Power Station Pty Ltd. – совместным предприятием APA Group и AGL Energy Ltd. Электростанция Diamantina построена в г. Маунт Иза (штат Квинслэнд) рядом с существующей станцией Mica Greek.

ГТЭС состоит из двух энергоблоков. Каждый из них включает две газотурбинные установки Siemens SGT-800, два котла-утилизатора NEM Energy b.v. и паровую турбину SST-400. Общая мощность станции составляет 242 МВт. Вся вырабатываемая электроэнергия будет использоваться для нужд находящихся поблизости шахт, промышленных предприятий и жилого сектора. Контракт предусматривает техническое обслуживание и ремонт основного энергетического оборудования в процессе эксплуатации в течение 15 лет.

