

Парогазовая установка EconoFlex на базе ГТУ SGT-800 компании Siemens

Ларс-Ингвар Нильссон, Маркус Йокер, Матс Бьеркман – Siemens Industrial Turbomachinery AB

In brief

Siemens EconoFlex™ SGT-800.

EconoFlex are combined cycle power plants in increments based on the Siemens SGT-800 gas turbine. The presented EconoFlex concepts are based on two (EconoFlex2) and six (EconoFlex6) parallel gas turbines / HRSG lines and one common steam turbine. They provide fast start capabilities producing full load within 30 minutes for a hot restart and 50 minutes for a cold start.

Part load efficiency is maintained high and pronounced by the feature to remove and add gas turbine / HRSG trains during plant part load operation. Emission compliance will be maintained over the indicated power output range and during load following operation. The EconoFlex offers house-load operation and black plant start capabilities for grid support. Remote load control and operation of the plant is feasible. The modularized concept and responsiveness of EconoFlex give provisions for support of distributed electric generation by renewables.

Ускоряющийся процесс глобального потепления и ужесточающиеся требования к выбросам парниковых газов в атмосферу побуждают энергетические компании все активнее вводить в эксплуатацию электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии. Однако при большом количестве ветровых и солнечных электростанций в энергосистеме встает вопрос о поддержании баланса в энергосети.

Поскольку в настоящее время еще не разработаны технологии эффективного сохранения энергии, для обеспечения баланса в сети используются традиционные энергоблоки, работающие на ископаемых видах топлива. Основные требования, предъявляемые к энергоблокам, – высокий КПД даже при частичных нагрузках, быстрый пуск, останов и выход на номинальную мощность, а также эксплуатационная гибкость. Одним из наиболее приемлемых вариантов является применение энергоблоков парогазового цикла. В статье представлены энергоблоки парогазового цикла EconoFlex компании Siemens, созданные на базе газотурбинных установок SGT-800.

Газовая турбина SGT-800

Мощность одновальной ГТУ SGT-800 составляет 50,5 МВт; степень повышения давления – 20,8; температура на входе в турбину – 1230 °С. Компрессор газовой турбины имеет

15 ступеней. Для оптимизации рабочих режимов первые три ступени компрессора имеют лопатки с изменяемой геометрией. Кольцевая камера сгорания оснащена 30 сухими низкоэмиссионными горелками. Газовая турбина – трехступенчатая. Воздух для охлаждения компонентов горячей части – камеры сгорания и турбины – отбирается от компрессора. Общий вид ГТУ SGT-800 представлен на фото.

Высокая температура выхлопных газов делает SGT-800 оптимальной для использования в составе электростанций парогазового цикла. Из состояния холодного резерва турбина выходит на номинальную мощность в течение 10 минут. На рис. 1 представлен график выхода ГТУ на номинальную мощность.

Паровые турбины SST-400 и SST-900

Паровые турбины применяются в составе электростанций парогазового цикла EconoFlex2 и EconoFlex6. Обе турбины являются однокорпусными, используются для выработки электроэнергии и привода другого промышленного оборудования (модельный ряд паровых турбин Siemens представлен на рис. 2).

Мощность паровой турбины SST-400 составляет 65 МВт, температура пара – 540 °С, давление – 14 МПа. Мощность SST-900 достигает 250 МВт, температура пара – 580 °С, давление – 16,5 МПа.



Фото. ГТУ SGT-800
компании Siemens

Паровой цикл

При быстром пуске ГТУ возникают напряжения, вызванные воздействием температуры и давления в трубопроводах и котле-утилизаторе. При проектировании данных систем необходимо учитывать такие нагрузки, возникающие на переходных режимах. Для этого проводится анализ нагрузок и расчет напряжений.

Особое внимание необходимо обратить на котел-утилизатор. Чем больше толщина материала, из которого изготовлен котел, тем большие напряжения возникают на переходных режимах. Это особенно проявляется в местах соединений компонентов различной толщины, например, парового коллектора и входов в барабан. В связи с этим умеренные параметры пара и расходы в решении EconoFlex являются позитивным аспектом.

Диаметры используемых емкостей, резервуаров и труб были уменьшены, что обеспечило меньшую толщину стенок и более высокую гибкость конструкции. Благодаря оптимальной конструкции трубопроводов и правильному выбору материалов, удалось увеличить продолжительность эксплуатационного ресурса котла-утилизатора.

При циклическом режиме работы установки, включая остановки, тепло в котле-утилизаторе сохраняется. Это достигается за счет изолирования как газового, так и пароводяного тракта от отдачи тепла в окружающее пространство. Котел-утилизатор при этом оказывается «закупоренным», и таким образом в нем сохраняется необходимый уровень давления и температуры для последующих быстрых пусков и снижения напряжений. В составе электростанции EconoFlex можно использовать котлы как прямоточного, так и барабанного типа.

Электростанция EconoFlex

Линейка EconoFlex – это электростанции парогазового цикла на основе энергоблоков SGT-800 с паровыми котлами-утилизаторами, подсоединенных к паровой турбине. В состав EconoFlex2 входят два газотурбинных энергоблока SGT-800 и одна паровая турбина SST-400. EconoFlex6 состоит из шести ГТУ SGT-800 и одной паровой турбины SST-900. Другие комбинации также возможны, в зависимости от потребностей заказчика. На рис. 3 представлена схема электростанции EconoFlex2.

Технические характеристики энергоблоков даны в таблице. Все параметры приведены для работы на природном газе согласно ISO (15 °С, относительная влажность воздуха 60 %).

Конструкция электростанций EconoFlex предусматривает два уровня давления, что

обеспечивает максимальную утилизацию тепловой энергии выхлопных газов. В составе энергоблока не применяется перегрев пара. Охлаждение воды осуществляется с помощью мокрых градирен с принудительной циркуляцией воздуха.

Для быстрого пуска энергоблока необходимо, чтобы при остановленном основном оборудовании все вспомогательные системы находились в рабочем режиме:

- электротехнические системы запитаны;
- системы управления и системы защиты включены;
- системы подачи воды заполнены и подготовлены к работе;
- котлы-утилизаторы и общая система питательной воды подготовлены к запуску;

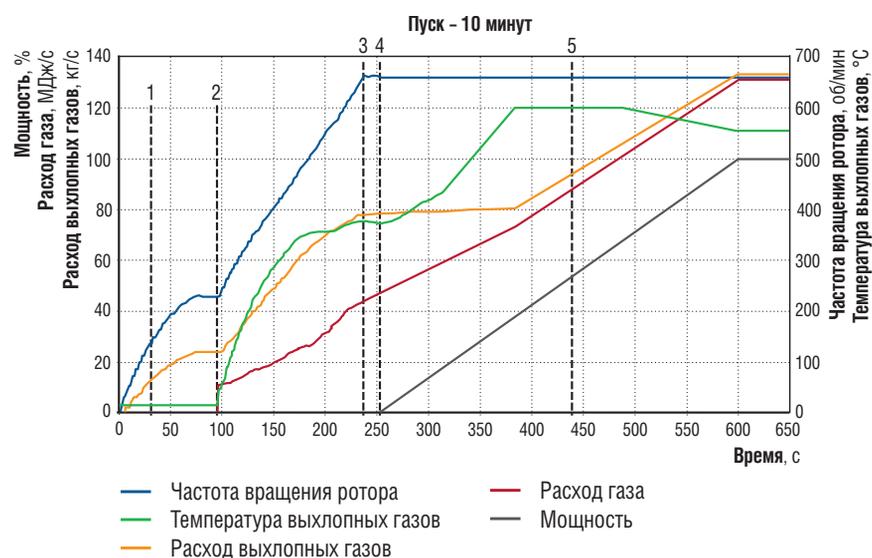


Рис. 1. График набора мощности ГТУ SGT-800 из состояния холодного резерва

Модель	Мощность, МВт ₃													
	0,5	1	2	3	5	7	10	15	20	30	50	75	100	150
SST-010	0,1													
SST-050	0,75													
SST-060	6													
SST-100	8,5													
SST-110	7													
SST-120	10													
SST-150	20													
SST-200	10													
SST-300	50													
SST-400	65													
SST-500	100													
SST-600	100													
SST-700	175													
SST-800	150													
SST-900	250													

Рис. 2. Модельный ряд паровых турбин компании Siemens

Рис. 3. Схема
электростанции EsonoFlex2



- внешние системы подачи газа находятся под давлением;
- системы охлаждения в рабочем режиме;
- системы продувки в рабочем состоянии.

Все топливные системы разработаны и автоматически управляются таким образом, что устраняется любой риск утечек газа.

Время пуска энергоблока рассчитывается с момента подачи команды на запуск ГТУ и до открытия главного клапана паровой турбины для впуска пара. Процесс запуска энергоблоков зависит от состояния, в котором они находятся перед пуском. Существуют три варианта исходных условий:

1. *Холодный пуск.* Энергоблок долгое время находился в нерабочем состоянии при температуре окружающего воздуха.

2. *Теплый пуск.* Оборудование работало в циклическом режиме с продолжительными остановками, например в выходные дни. Время таких остановок при этом не должно превышать 64 часов.

3. *Горячий пуск.* Оборудование работало в суточном циклическом режиме. Время остановок не должно превышать 8 часов.

Табл. Технические характеристики ПГУ согласно ISO

Параметр	EsonoFlex2	EsonoFlex6
Мощность, МВт	140	425
КПД, %	53,3	54,2
Мощность через 10 мин после пуска, МВт	96	286
Минимальная нагрузка, %	24	10
Набор нагрузки, МВт/мин	24	73

Данные исходные условия определяют температуру и давление в котле-утилизаторе, паротурбинной установке и вспомогательном оборудовании. После останова энергоблока давление и температура в системах постепенно снижаются.

После получения команды на пуск газовая турбина раскручивается до частоты вращения, необходимой для зажигания, и включаются горелки. Затем частота вращения продолжает увеличиваться до уровня режима холостого хода и осуществляется синхронизация с внешней сетью. Начинается набор нагрузки газовой турбиной до заданной величины. Если эта величина составляет 100 %, то весь процесс занимает 10 минут. Процесс пуска энергоблока представлен на рис. 4.

После начала работы ГТУ горячие выхлопные газы подаются в котел-утилизатор, где тепловая энергия утилизируется в пароводяном цикле. На начальном этапе она используется для установления необходимого уровня температуры и давления, и начинается выдача пара для паровой турбины. Время пуска котла-утилизатора зависит от его исходного состояния: холодный, теплый или горячий.

Выработанный пар используется для прогрева линий подачи пара и других компонентов пароводяной системы. Избыточный пар при этом отводится в конденсатор, после обеспечения требуемых параметров он направляется в паровую турбину (ПТ).

Концепция, применяемая для электростанций EsonoFlex, значительно сокращает время пуска по сравнению с другими установками. Время, необходимое для выхода энергоблока

на номинальную мощность и синхронизации с сетью, определяется температурой пара и паровой турбины. После синхронизации с внешней энергосетью нагрузка подается на паровую турбину. Процесс пуска считается законченным после открытия главного клапана подачи пара ПТ. При этом мощность турбины несколько ниже номинальной, поскольку пар не является еще достаточно перегретым.

Энергоблоки в составе электростанции могут запускаться параллельно или последовательно. При одновременном запуске полная мощность газотурбинных установок достигается в течение 10 минут. Время, необходимое для выхода станции на номинальную мощность, зависит от длительности простоя оборудования. Из холодного состояния для обеих электростанций оно составляет 110 мин, из горячего (8 ч) – 30 мин. Из теплого состояния (64 ч) установка EconoFlex2 выходит на полную мощность в течение 110 мин, EconoFlex6 – 65 мин.

Приемлемые для пуска ПТ показатели по температуре и давлению являются определяющими для электростанции EconoFlex. Ограничения зависят как от температуры пара, так и от самой турбины. Чем выше температура в паровой турбине, тем короче время пуска. Путем подачи внешнего тепла на прогрев ПТ в период простоя можно поддерживать высокую температуру в турбине, что существенно сократит время пуска станции.

Сократить время пуска электростанции после длительного простоя можно, если оснастить ПТ электрическим подогревателем, установив его под теплоизолирующим кожухом в комбинации с паровым затвором. Подогрев будет активирован при снижении температуры менее установленного значения. Если время простоя известно заранее, то подогрев можно не использовать.

Уплотняющий пар необходим для поддержания вакуума в конденсаторе: он может быть обеспечен в процессе пуска малым электрическим подогревателем. В этом случае время для достижения номинальной мощности при полной нагрузке из холодного, теплого и горячего состояния составит для обеих электростанций, соответственно, 50; 45; 30 мин.

Многоагрегатная электростанция (ГТУ/котел-утилизатор) позволяет поддерживать высокие температуры оборудования в горячем состоянии в период простоя. Один из энергоблоков может работать с минимальной нагрузкой, вырабатывая пар для прогрева оборудования других энергоблоков.

Работа энергоблока начинается, когда температура и давление достигают порогового

значения. Эксплуатация может быть продолжена или остановлена при достижении установленных значений температуры и давления. При этом пуск энергоблоков будет проводиться из горячего состояния, что значительно сократит время запуска. Уплотняющий пар при этом подается из котла-утилизатора.

Характеристики энергоблока при частичных нагрузках

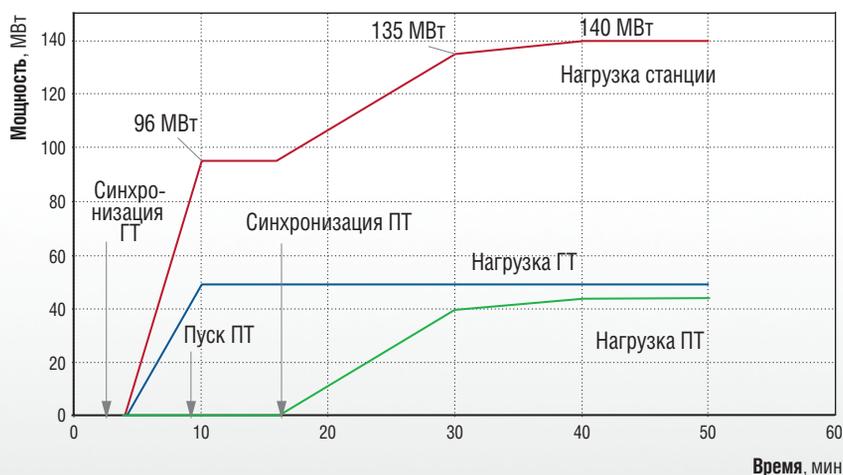
Высокий КПД газотурбинной установки SGT-800, котел-утилизатор с двойным давлением, паровые турбины SST-400 или SST-900 в составе ПГУ обеспечивают оптимальные эксплуатационные параметры при работе с частичными нагрузками. При падении нагрузки до 40 % за счет последовательной работы энергоблоков EconoFlex2 коэффициент загрузки может составлять до 24 % от базовой. Это соответствует диапазону мощности 33...140 МВт (рис. 5).

Коэффициент нагрузки электростанции EconoFlex6 может снижаться до 10 %, обеспечивая диапазон мощности 30...425 МВт. При таком низком уровне загрузка паровой турбины будет минимальной, что ограничивает эксплуатацию станции в парогазовом цикле (рис. 6).

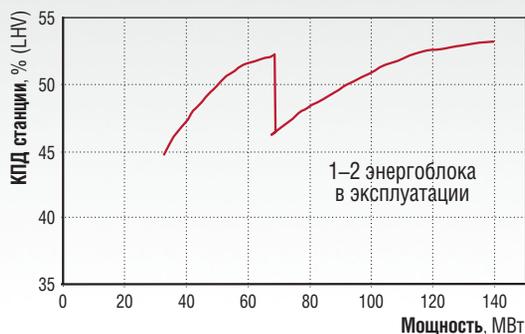
При последовательной работе энергоблоков высокий КПД можно поддерживать во всем диапазоне мощности. Очень часто многоагрегатные станции имеют негативную тенденцию: снижение мощности при работе одного из энергоблоков с полной нагрузкой и нескольких – с минимальной нагрузкой. При создании электростанции EconoFlex это было учтено, и в случае колебания нагрузки обеспечивается эффективная работа оборудования.

Высокие эксплуатационные параметры электростанции при работе с частичными нагрузками позволяют эксплуатировать только один энергоблок при очень низких потребно-

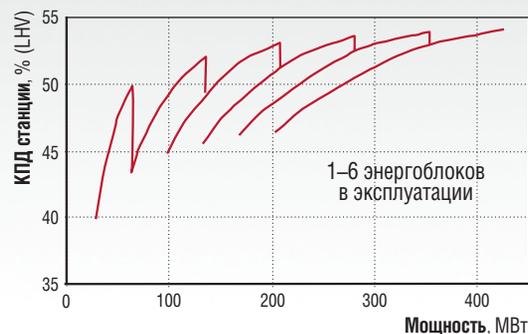
Рис. 4. Процесс пуска EconoFlex2 из горячего состояния



➤ Рис. 5. Параметры электростанции EsonoFlex2 при частичных нагрузках



➤ Рис. 6. Параметры электростанции EsonoFlex6 при частичных нагрузках



стях электроэнергии в сети, например в ночное время. В этом случае время выхода станции на полную нагрузку не зависит от паровой турбины, поскольку она будет постоянно находиться в эксплуатации.

Изменение нагрузки

Изменение нагрузки контролируется только ГТУ, участие паровой турбины при этом незначительно, что обусловлено задержкой в выработке пара. Возможности по сбросу и принятию нагрузки составляют 24 МВт/мин и 73 МВт/мин соответственно.

Конструкция станции обеспечивает параллельную работу всех энергоблоков с одинаковой нагрузкой. При работе с частичной нагрузкой все оборудование и системы станции готовы для мгновенного принятия нагрузки. Параллельная работа позволяет достигнуть оптимальной динамики по сбросу и принятию нагрузки за счет снижения КПД.

Альтернативным вариантом является последовательная работа энергоблоков. В этом случае главной задачей является выработка требуемой мощности с максимально возможным КПД. Это достигается за счет эксплуатации возможно меньшего количества энергоблоков при одинаковой нагрузке. При повышении нагрузки вводятся дополнительные энергоблоки из состава горячего резерва. Последовательная работа обеспечивает высокий КПД за счет снижения динамики набора и сброса нагрузки.

На рис. 7 представлен график работы электростанции EsonoFlex6 при колебаниях нагрузки. Высокий КПД поддерживается в течение всего периода при колебании вырабатываемой мощности.

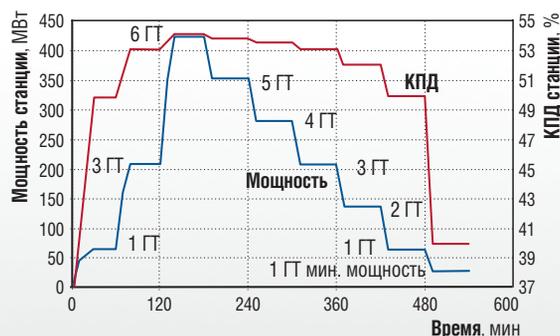
Уровни эмиссии

Газотурбинная установка SGT-800 оснащена сухой низкоэмиссионной камерой сгорания, обеспечивающей низкие уровни выбросов на всех режимах работы. Так, содержание углекислого газа составляет 1 ppm на всех режимах. Уровень эмиссии NO_x при нагрузке более 60 % – менее 15 ppm и повышается до 40 ppm при нагрузке 40 %.

При быстром наборе нагрузки данный показатель увеличивается на 5 ppm. Эмиссия органического углерода (ТОС) поддерживается на уровне 1 ppm. Содержание твердых частиц (PM 2,5 и PM 10), которые могут появляться из соединений серы в топливе, а также из всасываемого воздуха, тоже находится на низком уровне.

Если необходимо достигнуть более низких показателей эмиссии, электростанция может оснащаться дополнительными системами каталитического подавления выбросов. В таких случаях эти системы должны адаптироваться под конструкцию котла-утилизатора. Системы выборочного каталитического подавления выбросов (SCR) могут использоваться для снижения уровней эмиссии NO_x при резком повышении нагрузки без увеличения расхода аммиака.

➤ Рис. 7. Параметры электростанции EsonoFlex6 при колебаниях нагрузки



Дополнительная гибкость

Дополнительной опцией является дожигание в котле-утилизаторе. При этом будет утилизироваться избыточный кислород в выхлопных газах ГТУ для выработки дополнительного количества пара, что увеличит общую электрическую мощность станции. Применение данной опции несколько снизит общий электрический КПД, но позволит при необходимости получить дополнительную мощность в паровом цикле.

Нужно учитывать, что при использовании дожигания в котле-утилизаторе невозможно будет вырабатывать пар низкого давления. Если дожигание будет использоваться в течение большей части периода эксплуатации, предпочтительнее комплектовать электростанцию котлом-утилизатором с одним уровнем давления.

Повышение температуры окружающего воздуха негативно влияет на мощность и КПД газотурбинных установок. Это можно устранить путем охлаждения воздуха на входе в компрессор. Если влажность подаваемого воздуха достаточно низкая, то можно использовать системы испарительного охлаждения, если высокая – оптимальным решением будут чиллеры. Они потребляют достаточно много электроэнергии, но в большинстве случаев КПД установки повышается. В этом случае обеспечивается высокая мощность ГТУ при высоких температурах окружающего воздуха в летний период.

Электростанции EconoFlex в случае перебоев с поставкой природного газа могут использовать дизельное топливо в качестве резервного. Они могут эксплуатироваться в островном режиме, когда при отключении основной сети станция должна оставаться в рабочем режиме для поддержки восстановления работы сети. При этом энергоблоки будут работать с очень низкой нагрузкой, с использованием только газовых турбин, для обеспечения электроэнергией собственных нужд.

Возможен пуск электростанции без использования электроэнергии из сети. Для этого она оснащается резервным дизель-генератором. Его мощности достаточно для пуска одной ГТУ, которая, в свою очередь, обеспечит запуск остальных энергоблоков.

Система мониторинга эксплуатационных показателей станции используется для контроля рабочих параметров и предотвращения аварийных ситуаций. Она позволяет планировать обслуживание и ремонт оборудования по техническому состоянию компонентов. Кроме того, данная система определяет наиболее эффективные режимы работы станции. Обеспечена возможность дистанционного управления станцией.

Еще одним важным преимуществом электростанций EconoFlex является модульная конструкция, что минимизирует время доставки, монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования на площадке заказчика. 



Наслаждайтесь тишиной



КВОУ ГТЭС, Filter-house Upgrade to HEPA Filtration, Заказчик ГТЭС - BASF, Людвигсхафен, Германия



Системы шумоглушения для электростанции GTL-Anlage, (Пегель Катар), Linde AG



КВОУ ГТЭС Sitjaram, Бангладеш Siemens AG, Турбина Siemens SGT6-2000E

- Системы воздухозабора (КВОУ)
- Звукоизоляционные кожухи
- Компактные пэкиджи
- Акустические расчеты
- Системы шумоглушения
- Установка под ключ в любом регионе

Представитель в России
Павел Стефанишин
Тел. (495) 799-53-44
info@faist-russia.com

FAIST Air Intake Systems GmbH
Buschhöhe 10, 28357,
Bremen, Germany
Тел. +49 421-708310-10
Факс +49 421-708310-49
info@faist-ais.de, www.faist.de