

Интеллектуальное производство энергии с применением газопоршневых энергоблоков

Niklas Waegar, Mats Oestman, Mikael Wideskog, Eirik Linde, A. A. Никитин – Wartsila Corporation

С увеличением количества электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, возрастает необходимость в агрегатах, обеспечивающих баланс в энергосистемах. Основным требованием при этом является их высокая эксплуатационная гибкость. Применение концепции Smart Power Generation (интеллектуальное производство энергии) на базе газопоршневых энергоблоков – оптимальное решение данной проблемы.

In brief

Smart power generation with flexible gas engine concepts.

As the amount of variable renewable generation increases, in order for production to meet demand sufficient balancing capability is needed. This requires greater flexibility in the power system, and Smart Power Generation based on internal combustion gas engines is one of the evident alternatives. Modern gas engine power plants with multi-engine concepts have numerous combinations for arranging a solution to meet specific generating needs.

The new Wartsila 50SG engine is the largest gas combustion engine with the highest simple cycle efficiency existing on the market. Even though this engine allows plant sizes up to 500 MW, the multi-engine features mentioned in this article are inherent to the solution and, furthermore, step-wise extensions minimize the risk when the future operational pattern may become increasingly uncertain.

Эксплуатационная гибкость для производства энергии в будущем

Все возможные сценарии развития энергетического рынка предусматривают стабильный рост потребностей в электроэнергии. В то же время ее производство должно основываться на доступных и экологически чистых решениях. Недавняя авария на атомной станции Фукусима в Японии и возникшие в связи с этим политические дискуссии в Германии по радикальному сокращению атомных станций вызывают споры и расхождения во взглядах. Таким образом, сложилась ситуация, при которой энергетический рынок ожидают очень напряженные, но и по-своему интересные годы развития.

При активном использовании ветровых и солнечных электростанций неравномерность (колебания) производства энергии в энергосистеме возрастает. И хотя в настоящее время прогнозы нагрузок на ВЭС достаточно достоверны, они не исключают ошибок. Оптимальное решение для быстрого устранения дисбаланса в сети – использовать в энергосистеме гидроэлектростанции. Однако во многих регионах это недоступно, и в этом случае единственным приемлемым вариантом является применение эффективных, гибких в эксплуатации газопоршневых энергоблоков.

Современные газопоршневые энергоблоки имеют высокий КПД, а также быстрый запуск и выход на номинальную мощность. Они оснащены передовыми системами управления, обеспечивающими индивидуальный контроль каждого цилиндра. Это гарантирует стабильную работу двигателя, быстрый набор мощности, следование за нагрузкой и, при необходимости, сброс нагрузки. Данные технологии, при использовании которых достигается синхронизация с сетью в течение 30 секунд из горячего резерва, представляют альтернативный вариант по отношению к энергоблокам в холодном

резерве. Возможность выхода двигателя на 100 %-ю нагрузку в течение 5 минут поддерживает баланс в энергосистеме при вводе в эксплуатацию электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

Такие характеристики энергоблоков будут по достоинству оценены на энергетическом рынке, поскольку за счет сокращения количества оборудования, находящегося в холодном резерве, а также вывода из эксплуатации энергоблоков с частичной нагрузкой можно достигнуть общей экономии во всей энергосистеме. К примеру, операторы энергосетей (Transmission System Operators – TSO) смогут поддерживать баланс в сети с использованием оборудования третьей очереди (холодного резерва) за счет сокращения энергоблоков, работающих с частичной нагрузкой, в энергосистеме с электростанциями на ВИЭ.

Использование ДВС для обеспечения стабильности частоты в сети

Все большее количество электростанций на возобновляемых источниках энергии вводится в эксплуатацию. Ряд стран планируют к 2020 году обеспечивать более 50 % своих потребностей в электроэнергии за счет таких энергоблоков.

Несмотря на очевидные экологические преимущества электростанций на ВИЭ, неравномерная выработка ими требуемой мощности является серьезной проблемой при обеспечении стабильности частоты в сети. Это усугубляется еще и тем, что при замене традиционных станций они не могут обеспечить стабильность и инерционность энергосистемы. При наличии в энергосети большого количества станций на ВИЭ, уязвимость энергосистемы резко возрастает из-за сбоев, вызванных резким снижением производства электроэнергии.

Низкие эксплуатационные затраты ветровых и солнечных станций, а также политичес-

кие меры стимулирования их строительства являются важными факторами для замены традиционных электростанций в энергосистемах. Так называемый «порядок ранжирования», как ожидается, может привести к снижению факторов мощности (коэффициента нагрузки), более низким доходам, нестабильности цен на электроэнергию.

Резервное оборудование должно «справляться» не только с обычными возможными колебаниями мощности в энергосистеме, связанными со снижением производства электроэнергии по причинам аварий, но также с непредсказуемостью выдачи мощности электростанциями на ВИЭ. В связи с этим в системе должно быть достаточное количество резервных электростанций, размещаемых в необходимых местах.

Было проведено большое количество исследований о взаимосвязи количества электростанций на ВИЭ в энергосистеме и необходимого резервирующего оборудования. При этом цифры по количеству дополнительного резервирующего оборудования в разных исследованиях отличаются.

Один из выводов в результате исследований заключается в том, что в настоящее время электростанции на ВИЭ не используются для поддержания стабильности и инерционности системы. Это основано на том, что возможная необходимость резервирования и выработка энергии электростанциями на ВИЭ зависит от естественных колебаний и непредсказуемости изменений в объеме получаемых возобновляемых источников. Таким образом, данные электростанции редко используются в энергосистемах для резервирования первого или второго уровня. К тому же, операторы всегда стремятся получить максимум энергии от электростанций данного типа.

При выводе другого заключения учитывалось, каким образом электростанции на ВИЭ подключены к энергосистеме. Большинство современных станций такого типа подключены не напрямую, а через преобразователи частоты. Таким образом, они никак не влияют на инерционность системы.

Снижение инерционности в энергосистеме в связи с вытеснением традиционных станций электростанциями на ВИЭ может приводить к более высокому уровню колебаний по частоте и низкому падению абсолютной частоты при аварийных ситуациях в системе. В связи с этим операторы энергосетей вынуждены выдвигать специфические требования к электростанциям на ВИЭ для обеспечения искусственной инерционности, т.е имитировать инерционность традиционных станций.

Пониженная инерционность энергосистемы и необходимость поддержания баланса в сети



Электростанция комбинированного цикла мощностью 480 МВт

при наличии большого количества ВЭС приводит к частым пускам и остановам традиционных электростанций в системе. Это связано не только с естественными колебаниями ветровой нагрузки (в частности, если потребности в электроэнергии возрастают, а ветровая нагрузка падает), но зависит также и от размещения электростанций. Газопоршневые двигатели являются оптимальным решением для поддержания баланса в энергосети благодаря своим эксплуатационным характеристикам в условиях естественных колебаний ветровой нагрузки и интенсивности солнечного света.

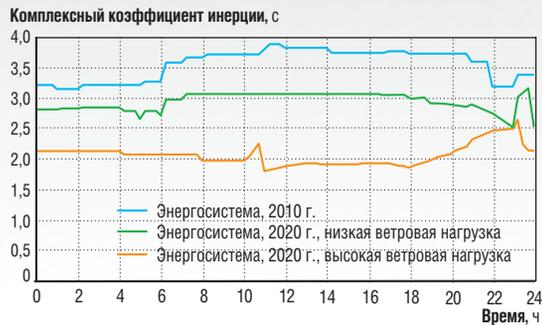
Детальное изучение влияния ГПЭС на стабильность частотных характеристик энергосети, проведенное компанией Кета, показывает, что их использование обеспечивает оптимизацию характеристик сети благодаря быстрому набору мощности. При этом увеличение мощности энергосистемы за счет ввода электро-

Эксплуатационная гибкость многоагрегатной электростанции на базе газопоршневых энергоблоков



1. Запуск	2. Базовый режим	3. Следование за нагрузкой	4. Работа с низкой нагрузкой	5. Быстрый останов
<ul style="list-style-type: none"> Обеспечение стабильности сети Дополнительные услуги 	<ul style="list-style-type: none"> Конкурентные затраты на выработку электроэнергии в течение жизненного цикла При любой нагрузке оптимальные эксплуатационные затраты 	<ul style="list-style-type: none"> Поддержание баланса в сети в зависимости от изменений ветровой нагрузки Дополнительные услуги 	<ul style="list-style-type: none"> Низкая нагрузка = отсутствие нагрузки Энергоблоки не работают в периоды с низкими доходами 	<ul style="list-style-type: none"> Энергоблоки не работают в периоды с низкими доходами Активизирует использование солнечных электростанций в энергосистеме
<ul style="list-style-type: none"> Подача мощности в сеть в течение менее 1 мин Выход на полную мощность за 5 мин Пусковой КПД 	<ul style="list-style-type: none"> Самый высокий КПД в простом цикле Гарантированная мощность многоагрегатных электростанций Flexicycle™ 	<ul style="list-style-type: none"> Высокий КПД при частичной нагрузке Эквивалентное число часов эксплуатации оборудования не влияет на затраты 	<ul style="list-style-type: none"> Останов в течение 1 мин Нулевые затраты на топливо Нулевые уровни эмиссии 	<ul style="list-style-type: none"> Останов в теч. 1 мин Шаг набора и сброса мощности менее 1 мин Отсутствие необходимости расчета эквивалентного числа часов эксплуатации оборудования

➤ Развитие коэффициента инерции энергосистемы одной из европейских стран. Ситуация в 2010 г. и прогнозы на 2020 г. при отсутствии влияния ветровой нагрузки на коэффициент инерции энергосистемы



станций на ВИЭ происходит без снижения ее надежности.

Такие характеристики ГПЭС, как быстрый запуск и набор мощности, обеспечивают функции резервирования второго уровня из холодного резерва. При этом надежность энергосистемы повышается, а необходимость компенсировать потерю мощности в сети с помощью больших электростанций снижается. Кроме того, в случае аварийных ситуаций на данных электростанциях дефицит мощности в сети также может быть оперативно устранен.

Гарантированная мощность

Способность ГПЭС выходить на полную мощность в течение 5 минут после запуска является очень важным фактором для обеспечения стабильности энергосистемы с использованием электростанций на ВИЭ. Четырехтактные двигатели, работающие на обедненной топливовоздушной смеси, – оптимальное решение для установленных режимов эксплуатации. Уровень рабочих температур двигателей позволяет производителям использовать для их изготовления широкий ряд материалов, не подверженных циклической усталости.

Возможность выхода газопоршневых двигателей на 100 %-ю нагрузку из холодного резерва подтверждена опытом их эксплуатации. Таким примером является электростанция компании

Lea County Electric Cooperative Inc. в штате Нью Мексико (США). В ее состав входит пять энергоблоков Wartsila 34SG. Строительство станции было начато в апреле 2011 года – ввод в эксплуатацию состоялся в январе 2012-го. Это свидетельствует о том, в какие короткие сроки модульная многоагрегатная электростанция может быть построена и запущена в эксплуатацию.

В январе 2012 года были проведены проверки эксплуатационных параметров энергоблоков в присутствии представителей заказчика. Целью проверок было установление времени выхода станции на 100 %-ю нагрузку – 46,7 МВт. Двигатели были готовы к работе в течение 30 секунд после нажатия пусковой кнопки, шаг набора мощности после запуска составил 25 % в минуту. Общее время выхода станции на полную мощность в итоге составило 4 минуты 17 секунд. Снимок с экрана журнала событий программы SCADA с результатами тестов представлен на фото.

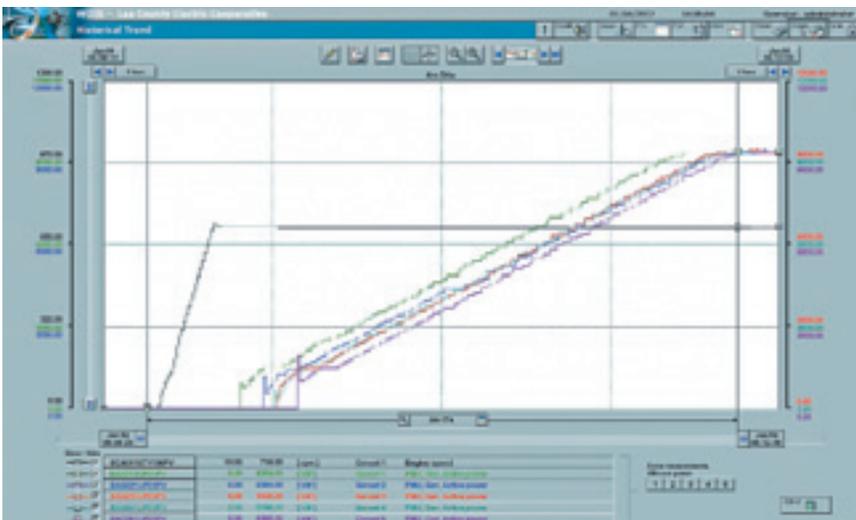
Создание многоагрегатных модульных электростанций обеспечивает широкие возможности эксплуатационной гибкости. Нет ограничений по выбору стратегии производства электроэнергии для энергосистемы, которые зависят от времени года, прогнозов потребления или ситуации на энергетическом рынке.

Возможность быстрого набора мощности и выхода из состояния холодного резерва позволяет использовать данные энергоблоки для резервирования второго уровня. Кроме того, при работе части энергоблоков обеспечивается как холодный, так и горячий резерв для поддержания баланса в энергосети. Например, при работе одного энергоблока из пяти с нагрузкой 50 % выход станции с 10 %-й нагрузки на полную мощность возможен в течение 5 минут. При этом шаг набора мощности составит 18 % в минуту.

Выработка требуемого количества электроэнергии с использованием минимального количества энергоблоков на номинальной мощности с оптимальным удельным расходом топлива обеспечивает большую экономию по сравнению с тем, когда работают все энергоблоки, но с частичной нагрузкой. Тепловая энергия, утилизируемая с работающих двигателей, может использоваться для прогрева остановленных энергоблоков. Таким образом, расход топлива на этих энергоблоках снижается, а общий КПД станции повышается.

Двигатели могут запускаться или останавливаться, набирать мощность или сбрасывать нагрузку как отдельно, так и совместно. Это позволяет выбрать оптимальную стратегию эксплуатации станции для поддержания параметров в энергосети, а также экономичной

➤ Фото. Снимок с экрана журнала событий программы SCADA (WOIS). Процесс выхода энергоблоков на 100 %-ю нагрузку (46,7 МВт) из резервного состояния в течение 4 мин 17 с. Слайдеры трендов на оси X показывают время пуска и выхода на 100 %-ю нагрузку



работы энергоблоков. При этом существует единственное ограничение: после остановки двигателя, работающего на номинальном режиме, повторный запуск возможен только через 5 минут (из условий безопасности). Период набора мощности зависит от температуры двигателя. Если температура находящегося в резерве двигателя менее 55 °С, то для его выхода на полную мощность потребуется дополнительно несколько минут.

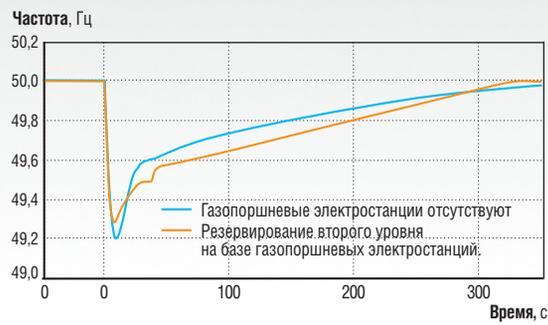
Соответственно, шаг набора мощности двигателя, температура которого поддерживается на уровне рабочих температур, составляет более 100 % в минуту. За счет пуска и останова двигателей в зависимости от ситуации обеспечивается близкий к расчетному удельный расход топлива. Более того, КПД двигателя при работе на частичной нагрузке является достаточно высоким. Данный показатель в сочетании с быстрым набором мощности существенно сокращает расход топлива и снижает уровни эмиссии CO₂ по сравнению с другими электростанциями, работающими на ископаемых видах топлива. Все это делает газопоршневые энергоблоки оптимальным вариантом для использования в энергосистеме с электростанциями на возобновляемых источниках.

Кроме того техническое обслуживание многоагрегатной электростанции может осуществляться по согласованному графику. При этом обслуживание одного из энергоблоков в составе электростанции проводится без останова остальных агрегатов.

Многоагрегатные электростанции могут включать в себя паросиловые блоки в составе станций комбинированного цикла, а также использоваться в когенерационном цикле для выработки тепловой энергии. Циклическая работа компенсируется применением в составе станции блоков сохранения тепловой энергии. При наличии в энергосистеме избыточного количества электростанций на ВИЭ эти энергоблоки могут использоваться для сохранения дешевой электроэнергии.

Газопоршневые двигатели с искровым зажиганием могут работать на газе низкого давления из газопроводов или на сжиженном природном газе без применения дополнительных компрессоров. Их эксплуатационные параметры не зависят от высоты над уровнем моря, температуры или влажности окружающего воздуха.

Электростанции простого цикла являются стандартным решением, при котором охлаждение происходит по замкнутому циклу с применением радиаторов, без ввода в цикл дополнительной жидкости. При этом расход воды практически равен нулю, что очень важно для регионов, где температура окружающего воздуха может опу-



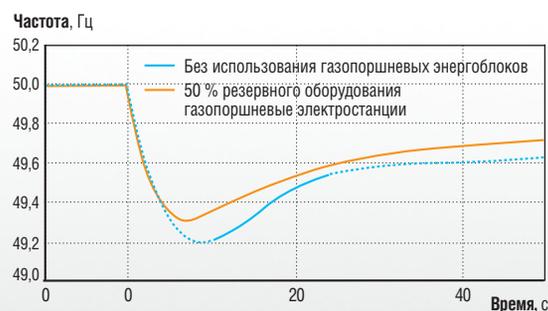
скаться ниже нулевой отметки. Очищенная вода – это дефицитный и дорогостоящий ресурс, а очистка сточных вод является затратной процедурой. Кроме того, в ряде регионов запрещено строительство градирен для охлаждения воды (с точки зрения экологии).

Эксплуатационные параметры двигателя Wartsila 50SG

Компания Wartsila представила на рынок самый мощный газопоршневой двигатель – Wartsila 50SG. Он соответствует всем настоящим и будущим требованиям по эксплуатационным расходам и имеет высокий КПД как в простом, так и в комбинированном цикле. Его преимуществами являются простота технического обслуживания и длительные межремонтные интервалы.

Максимальная электрическая мощность энергоблока составляет 18,3 МВт при частоте тока 50 Гц. Частота вращения силового вала двигателя – 500 об/мин, КПД на клеммах генератора достигает 48,6 % (по сравнению с другими аналогами и газовыми турбинами это самый высокий показатель для электростанций простого цикла).

Wartsila 50SG был разработан с учетом возрастающей потребности на рынке в мощных газопоршневых двигателях для использования в составе электростанций общей мощностью до 500 МВт. Для электростанции простого цикла такой мощности необходимо 28 энергоблоков Wartsila 50SG, а при использовании в ее составе паросилового блока общая мощность станции возрастает до 560 МВт.



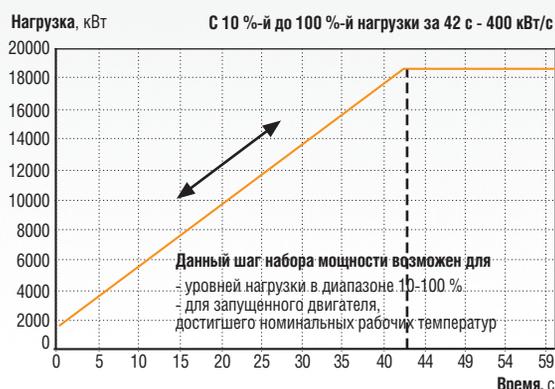
С Аварийная ситуация, сценарий с высокой ветровой нагрузкой: функции резервирования 2-го уровня выполняют двигатели в холодном резерве. Частотный график резерва 1-го уровня для сценария 2020 г. с высокой ветровой нагрузкой в одной из европейских стран. Синий график: обычный сценарий; красный: 50 % обычных электростанций заменены многоагрегатными на базе газопоршневых энергоблоков.

С Аварийная ситуация, высокая ветровая нагрузка, сценарий с набором мощности 10,2 % в мин. Частотный график резерва 2-го уровня для сценария 2020 г. с высокой ветровой нагрузкой. Синий график: обычный сценарий; красный: 50 % резервного оборудования – многоагрегатные электростанции на базе газопоршневых энергоблоков



Энергоблоки
Wartsila 50SG

Шаг набора мощности
400 кВт/с энергоблоком
Wartsila 50SG;
соответствует шагу -
24 МВт/мин



Компания Wartsila, ведущая свою историю со середины 1830-х гг., обладает огромным опытом в области проектирования, строительства и поставок электростанций на условиях «под ключ», ежегодно реализует более 100 проектов, в том числе и на территории бывшего СССР. На данный момент Wartsila насчитывает 53 722 МВт установленной мощности на 4 689 электростанциях, созданных на базе 10 584 двигателей, в 169 странах мира. Из указанного количества 115 электростанций в 29 странах мира (374 двигателя общей электрической мощностью 4 356 МВт) – на базе газовых двигателей семейства Wartsila 50. В Азербайджане, в пригороде г. Баку, работают 18 трехтопливных газодизельных двигателей Wartsila 50DF общей электрической мощностью 308 МВт. Кроме того, в Баку строится электростанция мощностью 389 МВт на базе 22 двигателей Wartsila 50SG. Обе станции принадлежат компании «Азербэнерго».

Более 1 % мировой электроэнергии вырабатывается на электростанциях Wartsila. Кроме того, компания имеет более 140 ГВт установленной мощности основных или вспомогательных двигателей для морского флота, в том числе на торговых, оффиорных, круизных и специальных судах и паромах. Фактически каждое третье судно в мире оснащено двигателями Wartsila, а каждое второе – обслуживается ее специалистами.

Компания является ведущим поставщиком эффективных и гибких технологий производства электроэнергии на основе ДВС, работающих на различных видах жидкого и газообразного топлива. Модельный ряд Wartsila состоит из электростанций мощностью до 600 МВт и включает предложения для всех отраслей промышленности, исчерпывающий комплекс услуг – от разработки проекта и его финансирования до эксплуатации и технического обслуживания станций.

Эксплуатационная гибкость, высокий КПД, низкий уровень выбросов и надежность – все это позволяет использовать электростанции Wartsila для стабилизации сети, покрытия пиковых нагрузок, в качестве базовых стационарных и плавучих источников электроэнергии, а также в области промышленной генерации и жилищно-коммунального сектора.

В дополнение к большой мощности и высокому уровню КПД данный энергоблок имеет еще одно преимущество: снижение и повышение нагрузки возможно без сокращения межремонтного ресурса. Это очень важно при работе энергоблоков в пиковом режиме, а также при использовании в энергосистемах большого количества электростанций на ВИЭ. Двигатель может быстро выходить на номинальную мощность из холодного резерва в случае резкого падения мощности ветроэлектростанций. Кроме того, он может быть остановлен в течение одной минуты и снова запущен через пять минут после останова.

Двигатели Wartsila 50SG обеспечивают быстрый набор мощности. Электростанция простого цикла мощностью 500 МВт или комбинированного цикла – 580 МВт обеспечивает набор и сброс нагрузки с шагом 67,2 МВт/мин. Все энергоблоки в составе ГПЭС набирают и сбрасывают нагрузку одновременно, интенсивность набора и сброса нагрузки каждого из них составляет 2,4 МВт/мин.

Заключение

Увеличение количества электростанций на возобновляемых источниках может существенно снизить надежность энергосистемы в связи с колебаниями ветровой нагрузки и интенсивности солнечного света. Используя ГПЭС в качестве резервных источников, можно обеспечить стабильность энергосистемы.

Быстрый набор нагрузки из состояния холодного резерва газопоршневыми энергоблоками, а также синхронизация с сетью в течение 30 секунд обеспечивают надежный резерв второго уровня для энергосистемы. При наличии надежного резерва использование ветровых и солнечных электростанций, с учетом отсутствия расхода топлива и нулевых уровней эмиссии, является оптимальным решением для выработки электроэнергии в будущем.

Двигатель Wartsila 50SG, имеющий самый высокий КПД в простом цикле по сравнению с аналогами, является и самым мощным на рынке. Модульная конструкция энергоблоков позволяет поэтапно наращивать мощность электростанции в зависимости от потребности. Использование энергоблоков для систем Smart Power Generation обеспечивает операторам возможности для наиболее эффективного производства электроэнергии. Обладая высокой эксплуатационной гибкостью, данные системы станут оптимальным решением на энергетических рынках в будущем в условиях жестких экологических требований. **TD**