

ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПИКОВЫХ МИНИ-ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

Канд. техн. наук КОНСТАНТИНОВА С. В.

Белорусский национальный технический университет

Все большее значение в мире уделяется энергосбережению путем вовлечения в энергетический баланс стран возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Топливо-энергетический комплекс любой страны состоит из двух фундаментальных составляющих: топливо-энергетических ресурсов (ТЭР) и энергетической системы, обеспечивающей электрической и тепловой энергией все хозяйственные секторы страны [1]. Собственными энергетическими ресурсами Республика Беларусь обеспечена приблизительно на 18,3 %. Дефицит энергоресурсов на 95 % покрывается природным газом, который импортируется из России. В [2, 3 и др.] придается огромное значение выравниванию графиков нагрузки как одному из средств для повышения эффективности работы энергосистемы и энергосбережения. В то же время обосновывается, что выравнивание графика нагрузки не может быть самопроизвольным процессом, а требует целенаправленных мероприятий с соответствующим материальным и финансовым обеспечением как производителей, так и потребителей электрической энергии.

Анализ баланса мощностей Белорусской энергосистемы и проблем регулирования суточного графика нагрузки свидетельствует о необходимости проведения мероприятий по выравниванию графика нагрузки, включая создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности [4], сделаны выводы о необходимых мероприятиях для покрытия графика нагрузки.

Беларусь – энергоэффективная страна (площадь – менее 500 тыс. км²) и географически находится в одном часовом поясе. С ростом потребления электроэнергии для бытовых нужд доля коммунальных нагрузок в суммарном графике будет увеличиваться, что повлечет за собой рост пиковых нагрузок [4, 5].

Особенностью энергетической системы Беларуси является отсутствие в ней гидроэлектростанций, которые могут эффективно решать проблему переменной части графика нагрузок энергосистемы. Поэтому в Белорусской энергосистеме в полупиковой и пиковой зонах графика нагрузки работают КЭС, а также практикуются разгрузка энергоблоков в пределах регулировочного диапазона нагрузок, остановка паротурбинных блоков мощностью до 320 МВт или перевод их в режим горячего вращающегося резерва, что приводит к работе части электростанций и агрегатов с малым числом часов использования своей установленной мощности (происходят «замораживание» ресурсов и их моральное устаревание); качество отпускаемой потребителям электрической и тепловой энергии снижается, частые пуски и остановки основного и вспомогательного оборудования электростанций приводят к пережогам топлива, ускоренному техническому износу оборудования и т. д. [3, 5].

Рассматривается возможность использования мини-энергокомплексов в качестве пиковых электромеханических устройств распределенного генерирования энергии как одно из направлений решения вопроса выравнивания графиков нагрузок.

По нашему мнению, эффективное использование ТЭР при наличии возрастающих пиковых нагрузок энергетической системы возможно с развитием пиковых электромеханических систем распределенного генерирования электрической и тепловой энергии, что требует серьезных научных разработок в области как первичных приводных двигателей, так и генерирующих устройств, внедрения технологии когенерации (способ производства собственной теплоты и электроэнергии) и тригенерации (одновременное производство электричества, теплоты и холода) энергии, развития биоэнергетики как топливного ресурса для мини-энергокомплексов, а также ветро-, мини-, гидро- и солнечной энергетики.

Наиболее приемлемым вариантом для работы в режиме пиковых электромеханических устройств распределенного генерирования до недавнего времени считались газопоршневые и газотурбинные установки (ГПУ и ГТУ) с использованием традиционного генератора. В настоящее время в Беларуси установленная мощность блочных станций на основе таких установок превышает 100 МВт. Вся эта мощность работает практически в базовом режиме. При переводе работы блочных станций в пиковый режим себестоимость вырабатываемой энергии на них увеличится в три-четыре раза. Омертвляются капитальные вложения, со стороны энергетической системы к установкам предъявляются серьезные претензии по вопросам устойчивости (перегружаемости). При возникновении аварийного режима в системе может произойти лавинное отключение блочных электростанций из-за остановки первичного двигателя или отключения генераторов, предусмотренных на установках защит. Такая ситуация может повлечь за собой разрастание аварии с отягчающими последствиями [6], так как горячий резерв мощности ТЭС может быть использован в течение 15 мин, а холодный резерв – за время до 12 ч [4]. Основным из недостатков ГПУ является возможность их остановки при резком набросе или сбросе нагрузки свыше 30 % от номинальной.

Важным направлением в развитии пиковых электромеханических систем распределенного генерирования, несомненно, явится внедрение совершенно нового класса энергетического оборудования – микротурбин (30 кВт – 1 МВт). В настоящее время лишь немногим международным компаниям удалось наладить массовый выпуск надежных, простых и относительно недорогих газовых микротурбин. Среди них – признанные мировые лидеры в указанном диапазоне мощностей [7–10]:

1. Capstone Turbine Corporation (США) – производство микротурбин мощностью 30, 65, 200, 600, 800 кВт и 1 МВт;
2. Ingersoll Rand (США) – производство микротурбин мощностью 250 кВт;
3. OPRA (Голландия) – производство малых турбин мощностью 2 МВт.

Представление о достоинствах нового класса энергооборудования дают технические характеристики микротурбин Capstone (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики базовых моделей микротурбин Capstone

Параметр микротурбин	Capstone C30	Capstone C65	Capstone C200	Capstone C600	Capstone C800	Capstone S1000
Электрическая мощность, кВт	30	65	200	600	800	1000
КПД по электричеству, %	26 (±2)	29 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)
Общий КПД электроустановки (с утилизацией теплоты), %	80–90	80–90	66–90	66–90	66–90	66–90
Диапазон рабочего напряжения, В	380–80	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480
Максимальный ток в фазе, А	46	100	275–290	930	1240	1550
Частота тока, Гц	50	50	50	50	50	50
Вес, кг	578	1121	3180–3640	8142–9534	12600–14400	15875–18144
Длина×ширина× высота, мм	1516×762××1943	1965×762××2110	366×1700××2490	9144×2438××2896	9144×2438××2896	9144×2438××2896
Вид топлива	Газ, керосин, дизельное					
Рабочее давление топлива на входе, МПа	Низкое давление 0,002–0,100; высокое давление 0,36	Низкое давление 0,002–0,100; высокое давление 0,52				
Расход топлива (газа) при номинальной нагрузке, нм ³ /ч	12	23	65	195	260	325
Максимальная температура выхлопных газов, °С	275	309	280	280	280	280
Выход тепловой энергии, кДж/ч (Гкал/ч)	305000 (0,073)	591000 (0,141)	1420000 (0,339)	4260000 (1,017)	5680000 (1,356)	7100000 (1,696)
Выброс вредных веществ при 15 % O ₂	<9 млн ⁻¹ NO _x					
Уровень шума на расстоянии 10 м, дБ	Не более 60					
Скорость вращения турбины, об/мин	96000	96000	60000	60000	60000	60000
Срок службы до капитального ремонта, ч	60000	60000	60000	60000	60000	60000

Низкие температуры сгорания топлива в микротурбинах (510–954 °С) приводят к сверхнизким уровням выбросов СО и NO_x (объемная концентрация – менее 9 млн⁻¹). Температура выхлопных газов (260–309 °С) препятствует образованию конденсата серной кислоты и, как следствие, быстрому износу деталей турбины.

Турбины имеют отличную эластичность к нагрузке без существенного снижения КПД. Генераторы способны работать в диапазонах нагрузки от 0 до 100 % номинальной мощности без остановки.

Топливная система и камера сгорания микротурбин пригодны для работы на различных видах газового топлива: природный газ высокого, среднего и низкого давлений; попутный нефтяной газ, шахтные и свалочные газы; биогаз. Турбина также может функционировать на высокосернистых газах, содержащих до 7 % сернистого водорода (H_2S), с низкой или переменной теплотой сгорания; работает на жидких видах топлива (дизельная фракция, керосиновая фракция) с теплотой сгорания до 120 МДж/м^3 и содержанием H_2S до 7 % от объема топлива (без газоподготовки). При работе на газах низкого давления все турбины комплектуются дожимными компрессорными станциями.

КПД турбогенераторов в режиме когенерации достигает 90 % и более. Для выработки 1 кВт·ч электроэнергии расходуется около $0,400\text{--}0,325 \text{ м}^3$ природного газа, при этом попутно вырабатывается и может быть утилизировано 2 кВт·ч теплоты.

Принцип работы микротурбинной энергоустановки. Термодинамический принцип работы микротурбинной установки Capstone схематично изображен на рис. 1. Перед подачей в микротурбину внешний воздух проходит через входной воздушный фильтр малого сопротивления, использующийся для очистки воздуха, а также для снижения потери мощности двигателя. Отфильтрованный внешний воздух, проходя через генератор, охлаждает обмотки статора, что позволяет отказаться от использования дополнительных устройств охлаждения генератора. Уменьшение числа компонентов двигателя ведет к упрощению конструкции, сведению к минимуму риска поломки отдельной составной части и, как следствие, повышению надежности всей системы. Компрессор увеличивает давление воздуха, откуда сжатый воздух поступает в рекуператор. Использование рекуператора повышает электрический КПД двигателя и позволяет в два раза снизить объем потребляемого топлива за счет использования тепловой энергии выхлопа для подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания, где тот смешивается с топливом и происходит возгорание смеси. Камеры сгорания и турбины выполнены из специальных высокотемпературных материалов, что дает возможность использовать широкий диапазон топлива с различной теплотворной способностью.

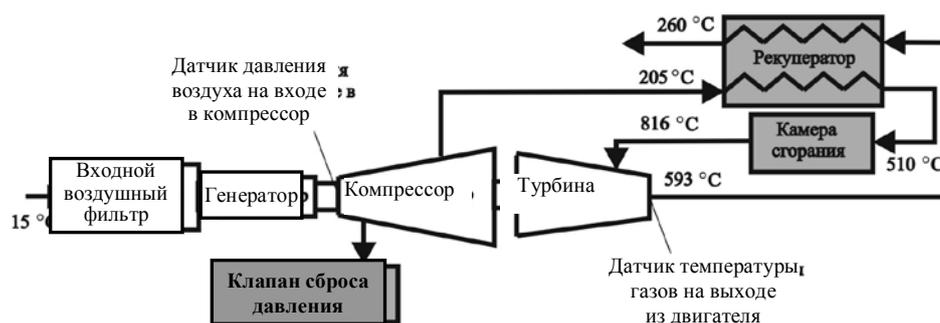


Рис. 1. Термодинамическая схема микроэнергетической установки

Высокая частота вращения ротора (96000 об/мин) позволила добиться уменьшения габаритов турбины, благодаря чему энергоустановка имеет малый вес и компактные габаритные размеры. Вместо традиционного синхронного генератора с редуктором использован высокоскоростной генератор с по-

стоянным магнитом на роторе, который напрямую соединяется с ротором турбины. Обмотка статора генератора соединяется со статическим электрическим инвертором, который преобразует переменный ток переменной частоты от генератора в постоянный ток, а затем – в переменный ток трехфазной системы постоянной частоты – 50 Гц при напряжении 380–480 В. Это позволяет практически мгновенно реагировать на изменение нагрузки и выдавать требуемую мощность. Частота вращения ротора микро-турбины изменяется от 45000 до 96000 об/мин и при этом не связана с выходным напряжением. Отсутствие этой связи и возможность изменения частоты вращения в широком диапазоне приводят к оптимальному расходу топлива, пропорциональному нагрузке. Для запуска микро-турбинной установки Capstone используется блок аккумуляторных батарей, который компенсирует ток нагрузки, в то время как двигатель набирает обороты. За счет этого микро-турбина способна выдерживать 80%-й наброс нагрузки. При одновременном сбросе нагрузки до 80 % тока идет на зарядку блока аккумуляторных батарей, а скорость вращения вала замедляется с помощью тормозных резисторов. Таким образом, достигается абсолютная эластичность к нагрузке без увеличения износа двигателя и существенного снижения КПД энергосистемы.

Контроль и управление микро-турбиной осуществляются микропроцессорной системой автоматического управления. Благодаря высокой степени автоматизации и надежной системе управления установка работает в автоматическом режиме, не требуя постоянного присутствия персонала при нормальном режиме работы. В случае критической ситуации система автоматически выключает установку и запоминает причину аварийного отключения. Система управляет режимами автоматического пуска, остановки, контролирует параметры работы, поступающие с датчиков расхода топлива, температуры, скорости вращения, электрической нагрузки и т. д. В цифровой системе управления реализованы сложные алгоритмы, которые поддерживают устойчивую работу установки и многофункциональность применения с точки зрения пользователя. Система управления обеспечивает работу установки в автономном режиме, а также в режиме параллельной работы с сетью для снятия пиковых нагрузок и передачи дополнительной электроэнергии в сеть.

Крыльчатка компрессора и ротор турбины смонтированы на одном валу с генератором. Малый вес вращающихся частей установки уменьшает ее инерционность, позволяя быстрее реагировать на повышение и снижение выходной мощности, уменьшает время процесса пуска и пусковые потери энергии. Инновацией, примененной в микро-турбинах семейства Capstone, являются воздушные подшипники, применение которых существенно уменьшает потери холостого хода.

Варианты размещения микро-энергостановок. При сооружении энергетических установок большое внимание уделяется выбору строительной площадки для их размещения. В этом отношении микро-турбинные установки обладают существенным преимуществом. Они могут размещаться:

- на открытой площадке, в легковозводимом погодном укрытии;
- в отдельном здании/сооружении;
- в основном здании объекта, внутри помещения;

- на крыше/кровле здания;
- в блочно-модульном исполнении для температурных условий от -60 до 50 °С.

Новые направления в решении проблемы пиковых нагрузок. Создание нового класса микроэнергоустановок является базовым основанием для эффективной практической реализации концепции распределенных систем генерации. Этот класс энергоустановок может оказаться весьма эффективным для решения проблемы покрытия пиковых нагрузок Белорусской энергосистемы. До появления этого класса энергетического оборудования для покрытия пиковых нагрузок наиболее целесообразными были гидроэлектростанции, которые обладают ценным свойством набирать номинальную нагрузку в течение нескольких минут из состояния холодного резерва, и Беларуси придется максимально использовать свой гидроэнергетический потенциал для нужд энергетики, в частности новейшие достижения в сооружении русловых микроГЭС.

Новый класс микроэнергоустановок по своим возможностям набора и сброса нагрузок уже не уступает ГЭС. Это свойство особенно важно для объектов с непрерывным, но неравномерным потреблением энергии, таких как объекты ЖКХ и их инфраструктура, городские жилые районы, районные центры, городские поселки, сельскохозяйственные регионы.

Следует учесть, что в стране осуществляется сплошная газификация. В настоящее время уже все районные центры газифицированы и интенсивно газифицируются городские поселки и большие деревни. Все населенные пункты, практически каждый дом, электрифицированы. Создана густая распределительная сеть напряжением 6–10 кВ. Поэтому в любом локальном центре электрических и тепловых нагрузок Беларуси может быть установлена микроэнергоустановка соответствующей мощности для покрытия пиковых и части предпиковых нагрузок с имеющейся инфраструктурой ТЭР и электрическими сетями. Это позволяет практически реализовать новые подходы к развитию энергетической системы страны, которая, оставаясь единой, будет состоять из интегрированных локальных систем, минимизирующих перетоки электрической энергии. Такая децентрализация будет способствовать повышению надежности работы энергосистемы, ее живучести при самых непредвиденных ситуациях. Возможность работы энергоустановок в автоматическом режиме, не требуя постоянного присутствия персонала при нормальном режиме работы, упрощает создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности, который позволит обеспечить автоматическое регулирование работы электростанций и минимизировать отклонения балансов электрической мощности. При этом развитие биоэнергетики, для которой в Беларуси имеются огромные потенциальные возможности (например, использование в качестве сырья такой культуры, как топинамбур), может пойти по пути создания высококоротельных специализированных хозяйств по выработке энергетических продуктов и природных удобрений (органического гумуса и питательных солей). Такие хозяйства, используя различные методы переработки биомассы (термо-, био-, агрохимические), на основе технологических процессов пиролиза, газификации, спиртового брожения, анаэробного разложения, биофотолиза, экстракции топлива смогут вырабатывать горючие газы и жидкости, масла, этанол, биогаз, метан, водород. Все эти энер-

гетические продукты являются топливом для нового поколения микроэнергостановок, которые, работая в режиме когенерации, обеспечат необходимые температурные режимы технологических процессов производства, теплом жилищный сектор предприятия и выработку электрической энергии по графику локальной энергосистемы, обеспечивая прохождение суточных пиков электрической нагрузки.

Развитие биоэнергетики совместно с мини- и микроэнергокомплексами на основе ветро-, гидроресурсов, солнечной энергетики, комбинированное использование (симбиоз) МЭК с различными ВИЭ на базе новых конструкторских разработок, научных достижений в области силовой полупроводниковой, микропроцессорной техники являются одними из основных направлений решения проблемы пиковых нагрузок.

ВЫВОД

Одним из путей решения проблемы пиковых нагрузок энергосистем является создание пиковых мини-энергокомплексов распределенного генерирования энергии с учетом новейших теоретических и конструкторских разработок, научно-технических достижений.

ЛИТЕРАТУРА

1. К о р о т и н с к и й, В. А. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Беларуси / В. А. Коротинский, К. Э. Гаркуша // Энергосбережение: практикум. – 2009. – № 11.
2. Г у р т о в ц е в, А. Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы / А. Гуртовцев, Е. Забелло // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 7/8.
3. П о с п е л о в а, Т. Стратегический потенциал ресурсо- и энергосбережения / Т. Поспелова, Г. Кузьмич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 7/8.
4. К о р о т к е в и ч, А. Баланс мощностей Белорусской энергосистемы и проблема регулирования суточного графика нагрузок / А. Короткевич, О. Фомина // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 4.
5. К о н с т а н т и н о в а, С. В. Пиковые электромеханические устройства распределенного генерирования / С. В. Константинова // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – № 2. – С. 30–38.
6. К а л е н т и о н о к, Е. В. Газопоршневые энергоустановки – перспективы и трудности внедрения и эксплуатации / Е. В. Калентионюк, Ю. Д. Филипчик // Главный энергетик. – 2010. – № 11.
7. Б ы с т р и ц к и й, Г. Ф. Микротурбинные установки в малой энергетике / Г. Ф. Быстрицкий, Е. А. Хлебников // Главный энергетик. – 2010. – № 6.
8. А к ш е л ь, В. А. Энергоцентры на базе микротурбинных установок / В. А. Акшель // Энергосбережение. – 2006. – № 5.
9. М и к р о т у р б и н ы Capstone. Режим доступа:[<http://www.r-gaz.ru/capstone.html>]
10. M i c r o t u r b i n e Capstone. Режим доступа:[<http://www.capstoneturbine.com>]

Представлена кафедрой
электропривода и автоматизации
промышленных установок
и технологических комплексов

Поступила 25.05.2011