

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

В энергетике есть нерешенные проблемы, которые усиливаются с каждым днем: плохое техническое состояние электросетей и несовершенные системы учета вызывают увеличение уровня потерь электроэнергии, не соответствуют современным требованиям технологии получения энергии. Значительные проблемы наблюдаются при работе, модернизации, обслуживании тепловых и атомных электростанций. Направления развития энергетики очень разнообразны, но все эти действия должны решать проблему энергосбережения.

Annotation *There are unsolved problems in power engineering that increase every day: poor technical state of electrical supply networks and unideal accounting systems increase the electric power losses degree, power generation technologies are not up-to-date. We can see significant problems when operated, modernized and serviced on heat and atomic power plants. Power engineering tendencies are very different, but all that activity must solve a problem of energy saving.*



Современный мир невозможен без существования надежной, непрерывно развивающейся системы электроснабжения (ЭС). Проблемы всемирной энергетики едины: поиск новых, современных способов, источников, технологий получения, передачи и распределения электроэнергии с непрерывным увеличением ее выработки. Но настоящее время характерно еще тем, что увеличение производства электроэнергии - это не просто наращивание установленных генерирующих мощностей, а обеспечение постоянного, надежного и эффективного энергообеспечения с учетом требований энергосбережения, обеспечивающего энергетическую независимость страны, экологическую устойчивость территории и социальную стабильность.

Вопросы экономного, надежного, достаточного энергообеспечения настолько важны, что сложно выделить область деятельности челове-

ка, в которой бы сегодня не занимались вопросами поиска новых путей получения электроэнергии или усовершенствования существующих ЭС. Поэтому возможно только определить и оценить пути дальнейшего совершенствования электрооборудования (ЭО) и поиска новых способов получения электроэнергии.

Целью данной работы является - определение путей совершенствования ЭС, снижения энергоемкости ЭО, оценка возможности и перспективности внедрения новых технологий, новых источников получения электроэнергии.

Техническая политика всех государств едина - решать задачу совершенствования энергообеспечения во всех направлениях, на всех этапах, не исключая ни одной возможности. Рассмотрим наиболее перспективные.

1. Увеличение единичных устанавливаемых мощностей генерирующих систем энергоустановок. Например, для АЭС планируется повышение до 1500 МВт единичных мощностей устанавливаемых турбогенераторов ГГГ. В качестве основного варианта замещения выбывающих мощностей АЭС предполагается строительство атомных энергоблоков с водородными реакторами типа ВВЭР-1500 и турбоагрегатами мощностью до 1500 МВт. Номинальное напряжение этого ТГ предполагается выбрать равным (27 - 28) кВ. В перспективе, на 8-м блоке Запорожской АЭС планируется установить такой ТГ - ТВВ - 1500-4У2.

Технический уровень отечественного электромашиностроения, в частности, НПО «Электротяжмаш» (г. Харьков), и результаты предварительных разработок показывают, что наша промышленность в состоянии изготавливать ТГ мощностью 1500 МВт в тихоходном (1500 мин⁻¹) и быстроходном (3000 мин⁻¹) исполнениях. В обоих вариантах предлагается безводородный ТГ с полным водяным охлаждением, обеспечивающий взрывопожаробезопасность энергоблоков и обладающий повышенной надежностью.

По данным НПО «Электротяжмаш» для ТГ предельной мощности (1500 МВт) следует использовать новый подход к выбору практически всех параметров. Первые расчеты позволяют определить ориентировочные размеры ротора: длина - 6,5 м, диаметр бочки - 1,45 м, длина между подшипниками - 9 м. При весе ротора 115 т, весковки (обработанной заготовки) - 185 т, а слитка - 290 т, что возможно для современных металлургических производств, например, «Азовстали» (г. Мариуполь).

2. Повышение эффективности использования установленных мощностей, проведение работ по продлению сроков эксплуатации действующих энергосистем. В Украине сформированы бригады, которые имеют государственные лицензии на проведение испытаний ЭО, выполнение необходимых ремонтов и могут выдавать сертификаты на продление эксплуатации. Это решение вызвано глубоким экономическим кризисом последних 18-20 лет.

По оценкам экспертов, техническое состояние оборудования классических ТЭС изношено на 90-95%, а в некоторых случаях - и на 100 %, атомных станций - в среднем на 70-75%. Продление срока эксплуатации ЭО возможно благодаря значительным запасам на «прочность». Так, к понятию «прочность» в отношении ЭО следует отнести то, что в СССР, при выборе класса нагровостойкости изоляции, закладывался Бетсе-фактор, т.е. запас на одну ступень по сравнению с расчетным значением.

3. Снижение потерь в работающих установках и системах. Учитывая сложное экономическое положение в стране, невозможна полная замена устаревшего ЭО на работающих предприятиях, это направление работ даст, если не самый большой, но самый быстрый результат.

Некоторые предложения по снижению потерь:

1) Установка ЭО новых серий с более высокими значениями КПД.

2) В нерегулируемых электропроводах с продолжительными режимами работы установка синхронных двигателей (СД) вместо АД, что позволит регулировать реактивную энергию в СЭС, и, хотя бы частично, демонтировать конденсаторные батареи.

3) Для городского хозяйства наиболее важны сети до 1 кВ. Но именно они на сегодняшний день наиболее изношены и требуют немедленной модернизации. В частности, для городских СЭС целесообразно применение самонесущих изолированных проводов (СИП). СИП, в отличие от неизолированных проводов, имеют изолирующее полиэтиленовое покрытие на фазных проводах и, в зависимости от модификации, имеют или не имеют подобное покрытие на несущем нейтральном проводе. Поэтому случайный контакт с линией или соединительными элементами не представляют угрозы для жизни и здоровья человека. Линии с СИП имеют более высокую степень пожарной безопасности, т.к. нет искрения из-за падения на линию посторонних предметов и отсутствуют короткие замыкания из-за схлестывания фазных проводников. Снижается или даже прекращается хищение электроэнергии за счет снижения количества несанкционированных подключений; снижение потерь в линии из-за отсутствия утечек в изношенных изоляторах,

соприкосновения "голых" линий с ветвями деревьев, нагрева в местах соединения проводов "на скрутках"; минимизируются расходы на регламентные и ремонтные работы: устраняется схлестывание проводов, отпадает необходимость проведения работ по подтяжке проводов, замене изоляторов, не нужна расчистка линий от растущих ветвей деревьев, не требуется вырубка просеки в лесу. СИП-ы могут выдерживать гораздо большие нагрузки во время аварий и стихийных бедствий (падение деревьев, аварии на транспорте, попадание молний), т.к. 4 скрученных в жгут провода обладают более высокой механической прочностью по сравнению с одиночным голым проводом, более стойки к обледенению. При замене «голых» проводов ЛЭП на СИП расходы незначительны, срок окупаемости около 4 месяцев.

4) Использование кабелей с экструдированной изоляцией из «сшитого полиэтилена» позволит подвести значительно ближе к электроприемникам высокое напряжение (110-220 кВ, например), т.е. сократить потери, что ранее было невозможно из-за существующих ограничений по прокладке высоковольтных ВЛЭП над жилыми районами и над местами интенсивного движения. Эти кабели можно укладывать в траншеи и подводить непосредственно к центрам электрических нагрузок. Перспективны работы по использованию кабелей с прошитым полиэтиленом в машиностроении и трансформаторостроении. Например, предлагается заменить масляные трансформаторы на сухие трансформаторы с высоковольтными обмотками из сшитого полиэтилена или со СП-ми обмотками. Это решение является наиболее простым и кратким по времени введения в производство.

5) Снижение потерь в топках котлов ТЭС и повышение их производительности возможно за счет повышения эффективности термодинамических циклов. Следует применять более совершенные технологии сгорания топлива, что позволит повысить температуру теплоносителя и совершенствовать конструкцию котла, чтобы снизить уход тепла в окружающую среду (потери). Для этого необходимо заниматься внедрением системы автоматического регулирования подачи воздуха в топку котельного агрегата, совершенствовать системы

теплоизоляции котла и транспортных линий теплоносителя. Для организации этого процесса установлен дутьевой вентилятор (ДВ). Для повышения эффективности работы вентилятора в настоящее время на ТЭС используют механические (с ручным приводом) системы регулирования производительности. Регулирование осуществляется по 2 каналам: направляющим аппаратом и переключением схемы статорной обмотки двухскоростного АД.

Существующие способы регулирования производительности ДВ не обеспечивают оптимальных значений объема продуваемого воздуха. Диапазон регулирования производительности при помощи направляющего аппарата очень узкий, регулирование за счет изменения частоты вращения приводного двигателя ступенчатое. Т.е. возможные значения объема воздуха, поставляемого вентилятором в топку, имеют не всегда оптимальное значение.

Необходимы автоматические системы изменения объема подаваемого в котел воздуха в зависимости от режима работы, качества топлива, температурных режимов. Система должна выбирать оптимальный режим работы ДВ и технологически связанного с ним дымохода котла для решения ряда задач:

1) обеспечение наиболее эффективного сжигания и экономии топлива;

2) решение задачи теплоснабжения и обеспечения потребителей горячей водой;

3) улучшение экологических условий эксплуатации котла;

4) повышение надежности оборудования;

5) информирование обслуживающего персонала о ходе технологического процесса.

Автоматизированная система должна быть рассчитана на непрерывный технологический процесс и выполнять следующие функции:

1) осуществлять сбор, обработку сигналов, обеспечивать защиту от разрушения программного обеспечения и несанкционированного доступа к информации, формировать предупреждающий сигнал при выходе за допустимые пределы параметров электропривода или технологического процесса;

2) регулировать частоту вращения приводного двигателя для изменения параметров технологического процесса горения топки;

3) обеспечивать автоматическое

Энергетика

Экология

и дистанционное управление исполнительными механизмами, выполнять управление технологическими процессами в реальном масштабе времени, проводить тестирование и самодиагностику технических средств;

4) предусмотреть безопасность работы приводных электродвигателей, защиту управляемых электродвигателей от аварийных режимов работы (перегрузка, обрыв фазы, пониженное и повышенное напряжение, обрыв муфты и др.);

5) обеспечить автоматическое повторное включение тягодутьевых машин в режиме вентиляции котла при исчезновении и последующем восстановлении напряжения в системе электроснабжения.

4. Состояние атомной энергетики. В настоящее время на 4-х АЭС Украины вырабатывается до 45 % от общего объема вырабатываемой электроэнергии страны. В будущем эта цифра увеличится до (51-52)%. Мощность 13 турбогенераторов, установленных на 4-х АЭС Украины, составляет 11800 МВт. Однако развитие атомной энергетики возможно с одновременным устранением проблем, связанных со значительным износом ЭО станций. Сегодня в Украине уже не стоит вопрос об обеспечении безопасности АЭС, а о самой технической возможности их эксплуатации. В настоящее время АЭС требуют немедленной модернизации, установленное ЭО практически отработало свой ресурс. (По инженерно-экономическим оценкам, модернизация одного энергоблока АЭС оценивается в 130 млн. дол).

В первой половине XXI века предусматривается существенный рост доли АЭС в балансе электроэнергетики всех стран. Ожидается увеличение производства электроэнергии к 2020 году на АЭС более чем в 2 раза. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что указанная задача будет решаться поэтапно, путем повышения единичной мощности установленного ЭО, продления срока службы АЭС первого поколения, достройки энергоблоков АЭС высокой степени готовности, путем создания и ввода в строй АЭС нового поколения с высокими показателями уровня безопасности и экономичности. Единичные работы по ремонту и модернизации отдельных блоков не решают проблем атомной энергетики в целом. Кроме того, существу-

ет еще ряд проблем, которые требуют немедленного решения:

1) Для хранения отработанного ядерного топлива в Украине используется система СХОЯТ. Но если известна технология загрузки отработанных ТВЭЛ-ов в «бочки» СХОЯТ-а, то нет решения по извлечению ТВЭЛ-ов из контейнеров при окончании их 30-летнего срока эксплуатации.

2) Чернобыльские события показали, что регулировать вырабатываемую на АЭС мощность более чем на 5 -10 % нельзя, даже при ночном спаде нагрузки. Поэтому, в случае значительной недовыборки электроэнергии из системы, необходимо останавливать реактор. Первым шагом по решению этой проблемы можно считать то, что станцией - спутником для Южноукраинской АЭС, построена не обычная ТЭС, как для Запорожской, Ровенской и Хмельницкой, а Ташлыкская ГАЭС.

3) Для сокращения количества радиоактивных отходов были разработаны новые, альтернативные тепловыделяющие сборки ТВСА. Эти сборки, в отличие от старого варианта ТВЭЛ-ов, могут работать не 1,5-2 года, а 4 - 4,5 года. Таким образом изменились графики работы и остановка блока для перегрузки реакторов. Например, на Запорожской АЭС, где всегда работало не более 5 блоков (5 ТГ суммарной мощностью 5000 МВт), теперь периодически одновременно работает 6 блоков мощностью 6000 МВт. Но пропускная способность передающих систем (ВЛЭП I) = 750 кВ) на такую мощность не рассчитана и стал вопрос, как передавать эту электроэнергию от станции к потребителю. Т.е. ЗАЭС не может работать на полную мощность. Например, в 2007 году недовыработка ЗАЭС электроэнергии, из-за ограничений по ВЛ-750 кВ, составила 854,4 млн. кВт*ч, в том числе из-за ограничений по пропускной способности схемы, при одновременной работе 6 энергоблоков в течение 54 суток (ограничение 5300 МВт) - 836,2 млн. кВт*ч, а из-за отключений ВЛ-750 кВ в плановый ремонт - 18,2 млн. кВт*ч. Это составило около 73,0 млн. грн.

5. Продолжается поиск новых, нетрадиционных источников энергии, которые будут лишены недостатков классических станций: загрязнение окружающей среды; ограниченность ископаемых топлив-

ных и минеральных ресурсов; постоянная необходимость повышения объема вырабатываемой энергии из-за непрерывного роста населения.

6. Отток населения из городов, изношенность ЛЭП всех видов, воровство цветных металлов определили интенсивное развитие не только моно-, но и полиэнергетики: увеличивается число мини-ТЭЦ, восстанавливают и строят малые и микро-ГЭС, развивается ветроэнергетика - т.е. те источники энергии, которые максимально могут быть приближены к потребителям.

7.0 перспективах развития крупного электромашиностроения частично уже сказано в первом пункте. Перспективно использовать в различных приводах асинхронизированные турбогенераторы, асинхронизированные синхронные компенсаторы. Для электрических машин (ЭМ) традиционного исполнения нет перспектив радикального улучшения массогабаритных показателей путем повышения электромагнитных нагрузок. Использование активной стали и изоляционных материалов в ЭМ находится на технически допустимом пределе. Идут работы по созданию высоковольтных гидрогенераторов, т.е. генераторов, у которых напряжение обмотки статора, например, равно 110 кВ. Это позволит исключить повышающий трансформатор из схемы СЭС, снизит потери в шинах от гидрогенератора до трансформатора.

Работы в этом направлении возможны в проведении исследований и создании высоковольтных генераторов (ВВГ), это стало целесообразным после появления последнего поколения изоляционных материалов, например, создание высоковольтного кабеля с экструдированной изоляцией. Работы по созданию этих кабелей ведутся во всех промышленно развитых странах.

Работы по созданию ВВГ в настоящее время ведутся в двух условно определяемых направлениях:

1) использование в качестве проводников обмотки якоря высоко

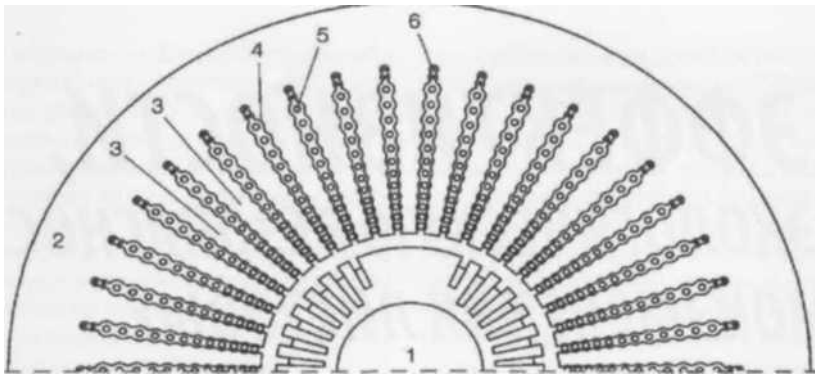


Рис.1. Сечение ВВГ с обмоткой статора из кабеля с экструдированной изоляцией: 1 - ротор; 2 - сердечник статора; 3 - зубцы; 4 - пазы; 5 - рабочая обмотка статора; 6 - дополнительная обмотка статора

вольтных кабелей (например, кабелей с экструдированной изоляцией на напряжение до 220 кВ) с изменением под профиль укладки формы и величины паза, рис. 1;

2) переход к безпазовой конструкции статора и новым типам обмоток.

8. Для обеспечения покрытия пиковых нагрузок системы перспективно создание гидроаккумулирующих и парогазовых электростанций, что позволит в определенной степени разрешить вопрос с установлением источников маневренных мощностей. Для этой же цели в диапазоне малых мощностей возможно использовать специальные типы синхронных генераторов с магнитоэлектрическим возбуждением.

9. Использование сверхпроводников (СП) в электроэнергетическом оборудовании. Использование СП-ков в энергетике стало перспективно с открытием и получением первых промышленных высокотемпературных СП в (ВТСП) с температурой критического перехода выше 77,3 К, т.е. выше температуры кипения азота. Использование безрезистивных проводников очень важно, т.к. десятая часть всей производимой в мире электроэнергии расходуется на потери.

Наиболее перспективны для промышленности висмутовые системы $B1_2G_2Ca_2Si_3O_x$, температура перехода которых в резистивное состояние достигает 115 К. Высокая стоимость ВТСП определяется сложными технологиями их изготовления. Но по оценкам Всемирного банка, уже через 10 лет рынок СП ЭО будет составлять 70 млрд. дол., а через двадцать лет превысит 240 млрд. дол.

На наш взгляд, наиболее перспективен полный комплекс СП ЭО, т.е. когда безрезистивным является все: генератор - трансформатор - сеть. Синхронные генераторы с СП обмотками статора появились в 70-х годах. Начаты работы по созда-

нию СП трансформаторов. Применение СП в электромашиностроении позволяет уменьшить массу и габаритные размеры электрических машин, увеличить предельную мощность и КПД турбогенераторов, получить электродвигатели с минимальным моментом инерции, с малым временем реверса, со специальными характеристиками. СП системы возбуждения могут увеличить КПД генераторов большой мощности до 99,5%, в то время как у обычных турбогенераторов он не более 98,6 %. Экономически рентабельными СП ЛЭП могут стать только при передаче большого количества энергии. В 2005 г. группа китайских разработчиков (CAS, 1EED1PC) и компания American Superconductor объявили об успешной демонстрации 76-метрового 3-фазного кабеля с теплым диэлектриком в действующей сети: данный кабель с напряжением 6,6 кВ питал заводы компании Changtong Power Cable в городе Байин (Китай) с декабря 2004 года по апрель 2005 года.

К середине 80-х годов стали отмечать разрыв между пропускной способностью обычных кабелей и растущей потребностью в передаваемых мощностях. Одним из направлений решения этой задачи стало применение НТСП кабелей. Но НТСП кабели работали только при очень низкой температуре (охлаждение жидким гелием с $T_K = 4,2$ К под защитой жидкого азота $T_K = 77,3$ К). Открытие в 1986 году Беднорцем и Мюллером ВТСП, имеющих рабочую температуру выше 77 К, дало новый толчок применению СП для элементов ЭО. При одинаковой мощности, по сравнению с обычным кабелем,

ВТСП - кабель более компактен и имеет низкий вес, что облегчает транспортировку и монтаж, для него требуется меньшее количество муфт, уменьшается площадь прокладки, он экологичен и пожаробезопасен.

Созданы СП силовые кабели,

способные передавать мощности в 100 раз превышающие мощности, передаваемые по традиционным кабелям с медными жилами. Важно, что стоимость производства этих кабелей почти не превышает стоимость производства обычных кабелей. При этом следует учитывать, что 90 % стоимости кабеля - это стоимость ВТСП - материала. Жилы, образующие новый кабель, выполнены из тонкой плёнки ВТСП-го материала типа иттрия, слоями наложенного на никелевую основу. Двадцать таких СП-ков были соединены в экспериментальный кабель длиной 1 м, с пропускной способностью до 1450 А.

Наиболее перспективные направления внедрения ВТСП - кабелей:

1) глубокие вводы в мегаполисы (например, Москва, Санкт-Петербург, Киев) и крупные энергоёмкие комплексы (металлургические, нефтеперерабатывающие и т.д.), что позволит не только увеличить передаваемую мощность, но и отказаться от подстанций высокого напряжения в пользу среднего;

2) связи между энергетическими системами, сильноточные токопроводы;

3) ЛЭП постоянного тока;

4) перемычки между ВЛЭП при прохождении водных преград (изоляция обычных кабелей в данных условиях может перегреваться, что уменьшает их пропускную способность на 30 - 40%).

Выводы Проблемы классической энергетики, технического внедрения приемов энергосбережения имеют широкий спектр поиска решений. Но этот поиск не имеет единого направления, алгоритма. Выбор следует вести индивидуально, в каждом отдельном случае учитывая особенность и специфику производства, цель решаемой задачи, экономическую целесообразность, техническое состояние и степень износа оборудования.

*Шевченко В. В., к.т.н, доц.,
Омельченко Л. И.*