

**Опубликовано:**

[Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине / Энергетика и электрификация (ISSN 0424-9879), №7(287). – Киев: Минтопливэнерго Украины, 2007. - С. 11-16].

УДК 621.313.320

**ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ**

**В.В. Шевченко**, к.т.н., доц., декан ЭНФ УИПА

В настоящее время в нашей стране есть значительные нерешенные проблемы, которые являются общими для всех стран:

- 1) загрязнение окружающей среды;
- 2) ограниченность ископаемых топливных и минеральных ресурсов;
- 3) непрерывный рост населения;

4) значительные потери электроэнергии. Плохое техническое состояние электросетей, несовершенные системы учета вызывают увеличение уровня потерь электроэнергии: потери во всех сетях Украины составляют около 15-18 %, а в некоторых регионах потери из-за изношенности электросетей достигают и более существенных значений, [1]. Так, например, по данным Дебальцевских РЭС, потери в электрических сетях поселка Мироновка Донецкой области составляют в летний период 22 %, в зимний – 42 %. Кроме того, проблемы возникают из-за серьезных недоработок в современных технологиях получения энергии.

Основой силового энергетического комплекса Украины является Объединенная энергетическая система (ОЭС), которая обеспечивает централизованное энергоснабжение собственных потребителей и взаимодействует с энергосистемами соседних стран. В ОЭС входят электростанции энергогенерирующих компаний (14 ТЭС, 4 АЭС, 7 ГЭС и 1 ГАЭС, 97 ТЭЦ, 8 ВЭС, мини- и микро-ГЭС и т.д.), магистральные электрические сети национальной энергетической компании (НЭК) «Укрэнерго» и распределительные электросети региональных энергоснабжающих компаний.

Средние показатели по мировым энергосистемам следующие: электростанции, которые работают на нефти – 38 %, на природном газе – 20%, на угле – 27%, что составляет 85% от общей выработки электроэнергии. Остальные 15% приходится на АЭС и на электростанции, работающие от возобновляемых источников энергии. В Украине АЭС вырабатывают до 48 %. Общая установленная мощность энергосистемы Украины по различным источникам оценивается в 52900 МВт (по данным украинских статистических управлений) или в 48000 МВт (по данным Европейского Банка Реконструкции и Развития). Общая мощность 13 установленных энергетических блоков на 4 АЭС Украины составляет 11800 МВт.

Стратегия развития атомной энергетики Украины, России, Китая и ряда других стран в первой половине XXI века предусматривает существенный рост доли АЭС в балансе электроэнергетики страны с увеличением производства электроэнергии на них к 2020 году более чем в 2 раза. Анализ литературных источников, [2-4], позволяет сделать вывод, что указанная задача будет решаться поэтапно, путем повышения единичной мощности установленного электрооборудования, 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.

Причем сегодня в Украине уже не стоит вопрос только о достаточной степени безопасности АЭС, а о самой технической возможности их эксплуатации: установленное оборудование практически отработало свой ресурс. В настоящее время АЭС требуют немедленной модернизации. По инженерно-экономическим оценкам, модернизация одного энергоблока АЭС оценивается в 130 миллионов долларов. Начаты единичные работы по ремонту и модернизации отдельных блоков. Но это не решает проблем энергетики в целом.

Аналогично специалисты оценивают и состояние классических тепловых электростанций. На 104 энергетических блоках теплоэлектростанции, работающих на угле, 96% оборудования отработало проектный ресурс, а 73% - превысили граничный ресурс. КПД станций снизился до 30 – 35%, [2-4]. Для тепловых электрических станций нужен импортный уголь, т.к. многие шахты Украины закрыты, а другие являются аварийными. Кроме того, на многих тепловых электростанциях отсутствуют газоочистные сооружения, что приводит к значительному выбросу в атмосферу оксидов азота, двуокиси серы и т.д. То есть и тепловая энергетика находится в состоянии, близком к технической катастрофе.

В качестве основного варианта замещения выбывающих мощностей предполагается строительство атомных энергоблоков с водо-водяными реакторами типа ВВЭР-15 и турбоагрегатами мощностью около 1500 МВт. Для реализации проекта такого энергоблока следует использовать возможности отечественной промышленности, добиваться минимальных, и, по меньшей мере, экономичных вложений для модернизации имеющихся производственных технологий и экспериментальной базы предприятий.

Уровень технического оснащения и развития отечественного электромашиностроения, в частности, завода «Электротяжмаш» (г. Харьков), и результаты предварительных конструкторских и технологических разработок показывают, что наша промышленность в состоянии разрабатывать и изготавливать турбогенераторы мощностью 1500 МВт как в тихоходном ( $1500 \text{ мин}^{-1}$ ), так и быстроходном ( $3000 \text{ мин}^{-1}$ ) вариантах. В обоих вариантах предлагается безводородный турбогенератор с полным водяным охлаждением, обеспечивающий взрывопожаробезопасность энергоблока и обладающий повышенной надежностью вследствие низкого уровня нагрева и вибраций, высокой степени отработанности конструкции, [4].

Зарубежные фирмы при создании турбогенераторов мощностью свыше 1000 МВт ориентируются на четырехполюсное исполнение с частотой вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$  (50 Гц) или  $1800 \text{ мин}^{-1}$  (60 Гц). Это генераторы мощностью 1150... 1360 МВт, изготовленные в Японии (Мицубиси), США (Дженерал Электрик, Вестингауз), Германии (Крафтверкюнион), Швейцарии (Броун Бовери). Наибольшей мощности 1485 МВт достигла Франция (Альстом), [5].

Проблемы обеспечения высокой надежности и интенсивного охлаждения ограничивают применение быстроходных двухполюсных турбогенераторов и ограничиваются мощностью от 900 до 1000 МВт (Броун Бовери, Швейцария; Альстом, Франция). Основные проблемы возникают с охлаждением и механическим креплением обмоток ротора, торцевых зон сердечников, крепления лобовых частей обмоток статора.

При расчетах турбогенератора предельной мощности (1500 МВт) следует использовать новый подход к выбору числа фаз обмотки статора (т.е. рассмотреть варианты трехфазного и шестифазного исполнения обмотки), величины воздушного зазора, наружного диаметра сердечника статора, активной длины стали машины, сечений стержней обмотки статора, обмотки возбуждения с целью выявления варианта с наивысшим КПД при допустимых значениях рабочих параметров, статической перегружаемости, нагрева обмоток и активной стали сердечника, [1,4]. В трехфазном варианте стержень обмотки статора очень сложный, так называемый двойной «стержень Ребеля», состоит из четырех столбиков транспонированных элементарных проводников. Изготовление такого стержня является сложной технологической задачей. Кроме того, при объеме тока в пазу свыше 35 кА, на обмотку будут действовать такие электродинамические силы, что они потребуют разработки специального усиленного крепления обмотки, как в пазовой, так и в лобовой частях.

Расчеты показали, что основные потери в трехфазной обмотке меньше, чем в шестифазной, но добавочные потери - значительно больше, [2]. По этой причине выше и суммарные потери, ниже КПД. Поэтому в качестве основного исполнения статора турбогенератора типа ТЭВ-1500-2 принимают шестифазный вариант обмотки статора. Это решение проверено многолетней практикой эксплуатации турбогенератора ТВВ-1200-2 на Костромской ГРЭС, [4]. В этом варианте две трехфазные обмотки сдвинуты относительно друг друга на  $30^\circ \text{эл}$ . Преобразование шестифазной системы в сетевую трехфазную осуществлено с помощью трехобмоточного

трансформатора, две первичные обмотки которого имеют соединения одной обмотки в звезду, а другой - в треугольник.

Шестифазный турбогенератор имеет существенные преимущества по сравнению с трехфазным. Прежде всего, вдвое снижается объем тока в пазу, что ведет к повышению надежности крепления обмотки статора. Во-вторых, значительно снижаются добавочные потери на поверхности ротора из-за меньшего содержания высших гармонических в кривой намагничивающей силы обмотки статора. Это ведет к снижению нагрева отдельных элементов и повышению КПД.

Номинальное напряжение генератора мощностью 1500 МВт принимают равным 27 кВ. Это облегчает задачу разработки генератора, т.к. при увеличении активной длины по сравнению с генератором ТВВ-1200-2-У3 (производство НПО «Электросила», г. Ленинград), имеющим напряжение 24 кВ, удельные электромагнитные нагрузки возрастают не в 1,25 раза, а в 1,11 раза. При проектировании такой машины следует сохранить наиболее интересные и технически грамотные решения:

1) высокую перегрузочную способность, низкий уровень тепловых деформаций и, следовательно, стабильность и надежность работы изоляции, имеющей класс нагревостойкости F, [1,3].

2) для ротора следует выбрать водоохлаждаемую демпферную обмотку, уложенную под пазовые клинья.

3) На полюсах следует выполнить продольные пазы с магнитным наполнителем. Это обеспечит полное выравнивание изгибной жесткости ротора в плоскостях полюсов и обмотки возбуждения без создания концентраторов напряжений.

Первые расчеты позволяют определить ориентировочные размеры ротора: длина – 16,5 м, диаметр бочки – 1,25 м, длина - 9 м. При весе ротора 115 т, вес поковки (обработанной заготовки) - 185 т, а слитка - 290 т, что возможно для современных металлургических производств, например, «Азовстали» (г. Мариуполь).

Выполненная эскизная проработка, [2], подтверждает реальность успешного решения задачи по созданию турбогенератора мощностью 1500 МВт, 3000 мин<sup>-1</sup> с полным водяным охлаждением. Т.о., мы можем сказать, что одно из направлений развития электроэнергетики – повышение мощности в единице энергетической установки, - возможно и подкреплено созданием высокоэффективного турбогенератора предельной мощности. Такие генераторы востребованы только для энергоблоков атомных станций, но само развитие атомной энергетики вызывает определенные вопросы из-за целого ряда проблем:

1) Чернобыльская катастрофа заложила устойчивую психологическую неприязнь и страх не только у среднестатистического гражданина, но и у представителей руководящих органов, которые устанавливают объемы финансирования на научные исследования по атомной энергетике;

2) общемировая тенденция по развитию энергетики - сворачивание объектов ядерной энергетики, т.е. АЭС. И в нашей стране необходимо уже сегодня постепенно снижать вклад АЭС в общий объем производства электроэнергии, постепенно снижая 45 % до 10-15 %, как в других странах. Иначе ожидается резкий удар по энергетике через 10-20 лет, когда действующие атомные реакторы выработают свой ресурс, а строительство новых экономически не осуществимо из-за отсутствия финансирования, [4];

3) Проблема энергетической безопасности остается довольно острой, поскольку на данное время все ядерное топливо для украинских АЭС поступает из России, а перспективы строительства отечественного топливного ядерного цикла до сегодня остаются неопределенными. Учитывая большие естественные запасы урановых и циркониевых руд, прогнозируемый рост мировых цен на урановое сырье, наличие значительного промышленного и научно-технического потенциала, в Украине следует создавать элементы собственного ядерно-топливного цикла, что существенно повысит уровень энергетического самообеспечения страны.

4) Вызывает опасение принятый для Украины вариант сухого хранения отработанного ядерного топлива – система СХОЯТ.

В настоящее время Украина не имеет возможности переработки отработавшего топлива и также не может принять отходы после переработки, т. к. не имеет ни завода по переработке, ни хранилища для радиоактивных отходов. В мировой практике наиболее широко используется метод сухого хранения. В результате тщательного сравнительного анализа возможных технологий хранения ОЯТ для крупнейшей украинской атомной станции: Запорожской АЭС, - была выбрана американская система сухого хранения ОЯТ в бетонных вентилируемых контейнерах, устанавливаемых на бетонной площадке в пределах охраняемой территории АЭС, [5]. Эта система временного хранения рассчитана на 40—50-летнюю эксплуатацию. Столь продолжительный промежуток времени позволяет не только принципиально решить проблему, но и создать постоянные хранилища. В процессе работы АЭС происходит накопление отработавшего топлива в специальных бассейнах выдержки внутри энергоблоков. Учитывая ограниченные возможности по вывозу отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на хранение в Россию, и как следствие — переполнение приреакторных бассейнов выдержки ОЯТ, обеспечение безопасной эксплуатации энергоблоков становилось все более проблематичным. Использовали в экстренных случаях внутристанционные перевозки ОЯТ с блока на блок. Однако, это лишь временная мера, требующая больших затрат и существенно снижающая выработку электроэнергии.

В результате произошло бы полное заполнение бассейнов выдержки и энергоблоки были бы остановлены. Это вызвало бы полный развал промышленности и нарушение деятельности сельскохозяйственных предприятий целых регионов. А с учетом кризисного состояния с топливом и оборудованием на тепловых станциях истинное положение было бы еще хуже. Останов АЭС — это также экономические потери, т.к. убытки от простоя блока 1000 МВт составляют около 10 тыс. грн. в сутки. Это обосновывало необходимость сооружения на АЭС стационарных хранилищ ОЯТ, наличие которого снимает зависимость станций от решения проблемы вывоза ОЯТ с ее территории и обеспечит возможность работы станции еще на 30 лет. Срок хранения ОЯТ в хранилище должен составлять не менее 50 лет с обеспечением возможности последующего вывоза отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) на переработку или постоянное захоронение. Ввод в эксплуатацию проекта СХОЯТ, вместо вывоза отработавшего топлива в Россию, позволяет экономить 393 млн.грн./год, [2,5].

Эта система была признана наиболее экологически безопасной, практичной, эффективной, рентабельной и наиболее отвечающей специфическим потребностям Запорожской АЭС.

Однако время идет, а решений по дальнейшей судьбе отработавших ОТВС, хранящихся в СХОЯТ-ах, нет. Нет отработанной технологии по безопасному вскрытию контейнеров, не понятно, как поведут себя ТВЭЛ-ы даже после 50-летней выдержки в герметичном контейнере СХОЯТ.

Эти проблемы и постоянный рост цен на энергоносители (нефть, газ) вызвали повышение интереса к возобновляемым источникам энергии, т.е. нетрадиционной энергетике. Она снимает проблемы экологии, но базируется на низкопотенциальных источниках и поэтому может представлять лишь временное решение. Из современных способов для Украины какой-то интерес представляет только ветроэнергетика. Для других стран перспективны и другие варианты, но это также не решает глобальных проблем, [1,3].

Мы приходим к заключению, что тепловые и атомные электростанции реализуют несовершенные, экологически вредные методы получения энергии из относительно низкопотенциальных источников. Мировые запасы топлива для этих технологий будут полностью исчерпаны к середине третьего тысячелетия. Значительный износ электрооборудования требует немедленного принятия решений по развитию новых и совершенствованию старых способов получения электроэнергии. Поэтому особенностью развития электроэнергетики 21 века является то, что, не отказываясь от классических, эволюционных путей развития, следует искать принципиально новые способы получения электроэнергии. Т.е. одновременно следует:

1) повышать эффективность энергетических установок на классических ТЭС, АЭС и ГЭС, увеличивать число и удельный вес выработки электроэнергии на ГАЭС.

2) экономить органическое топливо во всех областях, использовать технологии и оборудование с минимальными потерями;

4) повышать объем электроэнергии, получаемой от систем нетрадиционной энергетики, использующей возобновляемые энергетические ресурсы, искать новые возобновляемые источники энергии;

5) заниматься децентрализацией производства электрической энергии. Т.е. необходимо осуществлять переход от моно-энергетики к полиэнергетике, приблизить источники выработки электроэнергии к потребителям. Одновременно следует увеличивать единичную мощность энергооборудования, особенно вблизи крупных потребителей энергии.

6) искать новые способы получения электроэнергии, искать источники энергии с большим удельным потенциалом, чем он был у энергетических установок 20 в.

7) совершенствовать отдельные наименования установленного электрооборудования и, в первую очередь, совершенствовать турбогенераторы – самые крупные из существующих источников электроэнергии и электрических машин, а также стремиться использовать электродвигатели для технологических установок с максимальным КПД.

Электрические машины традиционного исполнения не имеют перспектив радикального улучшения массогабаритных показателей путем повышения электромагнитных нагрузок, по крайней мере, в диапазоне малых и средних единичных мощностей. Сейчас использование активной стали и изоляционных материалов в электрических машинах находится на технически допустимом пределе. Мы говорим о достигнутых значениях температур, индукций, линейных нагрузок. Радикальных изменений этой ситуации не предвидится. Возможно улучшить параметры электрооборудования, существенно снизить их удельную массу путем перехода на повышенные частоты вращения или на увеличение частоты тока для трансформаторов. В некоторой степени можно ожидать улучшение характеристик машин при использовании сверхпроводников (СП-ков) с высокой температурой. Использование СП-ков в энергетике теперь имеет смысл, т.к. созданы СП-ки с температурой выше 77,3 К, т.е. выше температуры кипения азота.

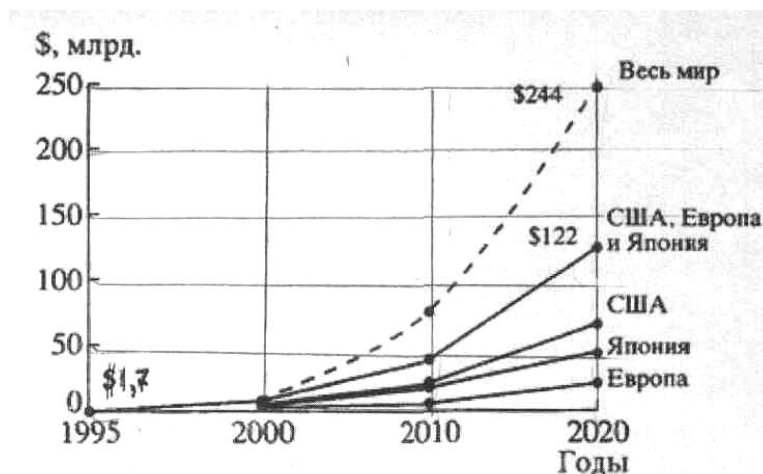
Десятая часть всей производимой в мире электроэнергии расходуется на потери, на нагрев медных и алюминиевых проводов. Между тем уже более века хорошо известно, как этого избежать. Достаточно использовать СП-ники, обладающие при низких температурах нулевым сопротивлением. Электроток, возбужденный в кольце из подобного материала, способен годами течь безо всякой внешней подпитки. До 90-х годов высокая стоимость сверхпроводящих материалов и необходимость охлаждения до сверхнизких температур мешали их массовому применению в энергетике. Активность и интерес к СП-никам, достигшие значительной высоты в 70-х годах, затем резко снизились, т.к., согласно теории Бардина-Купера-Шриффера (БКШ), СП-мость может существовать только до 25-30 К. Это определяло необходимость охлаждения СП-щего материала жидким гелием ( $T_K=4,2$  К), а затем защиту самого гелия жидким азотом. Практическое использование СП-ков стало перспективным и практически обоснованным после открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

В начале 1987году появились сообщения о разработке керамического материала со структурой  $YBa_2Cu_3O_7$ , в котором сверхпроводящее состояние наступает при 93 К в поле с  $B_{кр}=5,7$  Тл. Такие материалы имеют структуру типа перовскита (минерала  $CaTiO_3$ ). В системах Y-Ba-Cu-O в настоящее время достигнута допустимая плотность тока до  $10^4$  А/см<sup>2</sup>, что меньше, чем в металлических СП-никах. Наиболее перспективны для промышленного использования висмутовые системы  $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ , температура перехода которых достигает 115 К. В популярных изданиях имеются сведения о получении высокотемпературных сверхпроводников с критической температурой 250 К.

Для объяснения механизма существования ВТСП необходимо было искать другой механизм, отличный от БКШ – теории формирования куперовских пар, - и один из возможных подходов описан американским физиком Литтлом. Он предположил, что в органических веществах особого строения возможна СП-мость при комнатных температурах. Основная идея заключалась в том, чтобы получить своеобразную полимерную нитку с регулярно расположенными электронными фрагментами. Корреляция электронов, движущихся вдоль цепочки, осуществляется за счет поляризации этих фрагментов, а не кристаллической решетки. Поскольку масса электрона на несколько порядков меньше массы любого иона, поляризация электронных

фрагментов может быть более сильной, а критическая температура более высокой, чем при фононовом механизме (теория БКШ). В основе основной теоретической модели ВТСП, разработанной академиком В.Л. Гинзбургом, лежит так называемый экситонный механизм взаимодействия электронов: в электронной системе существуют особые волны - экситоны. Подобно фононам, они являются квазичастицами, перемещающимися по кристаллу и не связанными с переносом электрического заряда и массы. Модельный образец такого СП-ника представляет собой металлическую пленку в слоях диэлектрика или полупроводника. Электроны проводимости, движущиеся в металле, отталкивают электроны диэлектрика, то есть окружают себя облаком избыточного положительного заряда, который и приводит к образованию электронной пары. Такой механизм корреляции электронов предсказывает весьма высокие значения критической температуры ( $T_K=200$  К). Открытие ВТСП опять активизировало интерес, и, соответственно, объем материальных вложений в развитие технологий изготовления промышленно применяемых СП-ников.

Свойства ВТСП во многом зависят именно от технологии. Наиболее простой способ состоит в размоле металлических оксидов, прессования смеси и отжиге в атмосфере кислорода при температуре  $900^\circ\text{C}$ . Новое вещество образуется в результате химической реакции. Для устранения межгранулярных прослоек и получения более упорядоченной ориентации кристаллов полученное соединение подвергают плавке с последующим охлаждением. Лучшие СП-дящие свойства получаются в пленочных образцах, пропускающих ток  $\sim 10^6$  А/см<sup>2</sup>. Сравнительно небольшие плотности критических токов ВТСП - одна из главных причин, сдерживающих их практическое применение. Поэтому поиски методов синтеза СП-ков с повышенными плотностями критических токов представляют несомненный интерес. Одним из путей повышения плотностей критических токов и критических температур оксидных ВТСП является введение в них различных модифицирующих добавок. Так, модифицирование таллий-содержащих ВТСП некоторыми металлооксидами приводит к улучшению критических параметров, некоторое возрастание обнаружено в Тl-содержащих ВТСП, модифицированных тонкодисперсной платиной. Образцы тщательно гомогенизировались в этаноле и высушивались при температуре  $105^\circ\text{C}$ . Высушенные смеси прессовались в таблетки под давлением  $2$  т/см<sup>2</sup> и отжигались при температуре  $870^\circ\text{C}$  в течение 10 - 20 мин с последующей закалкой на воздухе. Вследствие обильного газовыделения полученные образцы обладают высокой пористостью. Для уменьшения пористости они подвергались сухому перетиранию, прессовались и повторно отжигались при тех же условиях. Обнаружено, что модифицированные таким путем образцы имеют более высокое содержание СП-дящей фазы, меньший размер зерен и обладают более резким переходом в СП-щее состояние по сравнению с образцами, полученными при тех же условиях, но без добавок фторидов. Многие технологии построены на использовании серебряных компонентов. Все описанные выше и другие технологические процессы объясняют высокую стоимость ВТСП-ков. Однако, за последние несколько лет цены на СП-ки упали в 7-8 раз, причем эксперты прогнозируют их дальнейшее снижение, [1,5,6]. С конца 90-х годов 20 века началось промышленное использование СП-ков в самых разных отраслях промышленности. По оценкам Всемирного банка, уже через 10 лет рынок СП-никового электротехнического оборудования будет составлять 70 млрд. дол., а через двадцать лет превысит 240 млрд. дол. (рис.), [6].



Рост объема продажи сверхпроводникового электротехнического оборудования по прогнозу Всемирного банка.

Применение СП-ников 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. Совершенствование генераторов и двигателей – основных элементов любой энергосистемы, – важный шаг в совершенствовании энергосистемы в целом.

### Литература

1. Шевченко В.В., Шевченко С.Е. Направления и перспективы использования специальных типов генераторов для энергетических установок с возобновляемыми источниками энергии. // Системы обробки інформації. Збірник наук. праць. - Вип. 9, с. 213-218.
2. Данилевич О.Я., Иогансен В.И., Кады - Оглы И.А. и др. Турбогенератор с полным водяным охлаждением мощностью 1500 кВт. Разработка и реализация проекта. // Сб. «Электросила», приложение к вып. 42, С.-Петербург, 2003, с. 3-7.
3. Кларк А. "До и после 2001 года" // "За рубежом" № 48. 9-15.12.99.
4. Кузьмин В.В. Энергетика Украины в третьем тысячелетии – пути преодоления кризиса и задачи научных исследований. // Региональный европейский форум WEC "Киев-2000", доклады, Киев, 2000, с. 135-140.
5. Оценка воздействия хранилища отработавшего ядерного топлива Запорожской АЭС на окружающую среду. - Харьков: Госкоматом, 1994. – 74 с.
6. Шевченко В.В., Гавриш А.Ю. Современное состояние и перспективы применения сверхпроводников в электроэнергетике. // Системы обробки інформації. Збірник наукових праць. Вип. 5(45). – Харьков, 2005, с. 194-204.

### Аннотация

Плохое техническое состояние электросетей Украины, несовершенные системы учета обуславливают потери электроэнергии около 15-18 %, а в некоторых регионах - до 50 % в зимнее время. Износ оборудования повышает риски аварий и удорожает ремонты. Эти проблемы сходны как в атомной, так и в тепловой энергетике. В связи с этим происходят такие процессы: источники электроэнергии и тепла стараются приблизить к потребителям; идет непрерывное укрупнение установленного электрооборудования в единичном исполнении; проводится поиск новых технологий и путей получения электроэнергии; разрабатывается электрооборудование на основе высокотемпературных сверхпроводников.