

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРОСТРОЕНИЯ

В.В. Шевченко, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

Целью работы является определение задач по обеспечению надежной и эффективной работы мощных турбогенераторов (ТГ), определение передовых технологий их производства и существующих проблем, установление направлений совершенствования современных ТГ.

ТГ представляют собой основной вид генерирующего оборудования, обеспечивающего свыше 80 % общего мирового объема выработки электроэнергии [1,2], В тоже время ТГ являются и наиболее сложным типом электрических машин (ЭМ), в которых сочетаются проблемы получения предельной мощности, оптимизация массогабаритных показателей, получение высоких значений электромагнитных характеристик, обеспечение допустимого нагрева и достаточного охлаждения, обеспечение высокой статической и динамической прочности элементов конструкции. Кроме того, необходимо обеспечить максимальную эксплуатационную надежность и экономичность ТГ. Уровень турбогенераторостроения определяет в целом уровень развития электроэнергетики любой страны.

Проблема исследования будущего мировой энергетики состоит в том, что необходимо учесть сложный комплекс факторов - направления и приоритеты совместного развития мировой экономики и промышленности, технологические, ресурсные и экологические возможности; энергетические, политические, демографические проблемы, а также необходимость учета взаимного влияния всех указанных факторов друг на друга. особенно важно учесть зависимость развития энергетики и уровня экономики. Необходимо также сочетать количественные и качественные сочетания показателей электромашиностроения. Для решения этих задач наиболее целесообразно применять комплексный подход, т.е. нести непрерывный учет и оценку взаимного совместного развития вышеперечисленных направлений.

Несмотря на огромное количество работ, выполненных за прошедшие десятилетия, решение вопросов дальнейшего развития теории электромашиностроения, разработка более совершенных технологий и конструкций ТГ, поиски методов расчета и исследований не теряют своей актуальности. Применение новых решений при выборе конструкций в качестве типовых (базовых) для ТГ различных серий позволяет не только повысить их качество и надежность, но и обеспечить высокую унификацию, снизить себестоимость производства и эксплуатационные расходы. В частности, перед исследователями возникают новые задачи в связи с тенденцией отказа от водорода в качестве хладагента и перехода на конструкции с другими системами охлаждения (вода, воздух). Среди новых разработок следует, в первую очередь, выделить конструкции, не имеющие мировых аналогов и позволяющие превзойти продукцию конкурентов по главным технико-эксплуатационным показателям уровня нагрева, КПД, маневренности, перегрузочной способности, надежности, массы и габаритов, [1,2].

Работы по совершенствованию конструкции, повышению качества и экономичности ТГ в условиях усиления конкурентной борьбы на право поставок энергетического оборудования на мировой рынок имеют большое значение, существенно повышают требования к эксплуатационным показателям ТГ. В первую очередь, это относится к увеличению сроков службы и межремонтных периодов, повышению требований к коэффициенту готовности, маневренности, запасам мощности, обеспечению безаварийной работы ТГ в режимах с потреблением реактивной мощности, снижению расходов на обслуживание и ремонты, обеспечению высокой надежности, повышению долговечности отдельных узлов и деталей. Последнее обеспечивается за счет оптимального регламента проведения ремонта, индустриализации ремонтных работ, создания более совершенной технологии ремонта.

Современные ТГ работают в энергосистемах в сложных условиях: при пониженных частоте и напряжении, глубоких разгрузках, систематических пусках и остановках. Генераторы в составе агрегатов периодически подвергаются динамическим воздействиям: крутильным колебаниям, ударным токам, следующим за переходными режимами при КЗ, не точной синхронизации, потере синхронизма и др. В последние годы, благодаря выполненным исследованиям, обеспечена устойчивая работа ТГ в режимах глубокого недо возбуждения, в несимметричных и динамических режимах. Однако изучение влияния этих режимов на конструкцию и надежность работы генераторов должно быть продолжено.

Другое направление повышения эффективности ТГ связано с совершенствованием систем обеспечения (системы газо- и маслоснабжения, водяного хозяйства, тока возбуждения), широким внедрением в этих системах микропроцессорной техники и высоким уровнем автоматизации. Дальнейшее улучшение показателей надежности будет также достигнуто за счет применения средств технической диагностики состояния напряженных узлов и элементов в режимах on-line при плановых и аварийных ремонтах. Широкое внедрение комплексных систем диагностики позволит своевременно выявлять предаварийное состояние машин, исправлять имеющиеся неисправности и избегать длительные простои ТГ из-за аварийного выхода из строя,

В последние 30-35 лет замедлился рост единичной мощности ТГ, во-первых, по причинам технико-технологического характера, которые определяются необходимостью внедрения сложных систем охлаждения, ограничениями по механическим напряжениям ротора и статора и необходимостью обеспечения допустимых значений вибраций машины. Во-вторых, современный уровень развития науки и техники позволяет создать ТГ мощностью до 2000- 2500 МВт, однако социально-экономические последствия аварийного выхода из строя машины такой большой единичной мощности ставят под вопрос целесообразность их применения. В 80-е годы XX века именно это привело к тому, что на НПО «Электросила» (г. Ленинград, СССР) было выпущено только три ТГ мощностью 1200 МВт, затем их выпуск был приостановлен.

В настоящее время вопрос повышения единичной мощности ТГ опять стал актуален, т.к. это является одним из реальных направлений энергосбережения, общая мощность энергосетей страны стала выше, т.е. устойчивее в случае внезапного отключения мощного генерирующего элемента системы. Кроме того, развитие металлургической промышленности привело к тому, что если в 70-80-е годы прошлого века,

по условиям механической надежности могли изготавливать машины с максимальным диаметром неявнополусного ротора 1,2-1,3 м, то в настоящее время ТГ мощностью 1500 МВт ($p=2$) имеют наружный диаметр ротора до 1,9 м [5]. В настоящее время в Великобритании и США проектируют генераторы мощностью до 2000 МВт.

Рост единичной мощности ТГ приводит к снижению удельных затрат на материалы» на удельные капиталовложения при сооружении станций и, в результате, к снижению стоимости электроэнергии. Например, удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности для ТГ 200 МВт почти в 2,5 раза меньше, чем для ТГ мощностью 32 МВт. КПД ТГ мощностью 1200 МВт примерно равен 99 %, однако, отводимые потери в нем достигают 12 МВт, что требует обеспечения интенсивного охлаждения [4,5].

Анализ перспектив развития энергетики показывает, что в ближайшие годы потребуются ТГ мощностью 1500 МВт для работы в блоке с атомными реакторами [3]. Их конструкция будет базироваться на конструкциях и технологиях изготовления ТГ мощностью 1000 1200 МВт. При этом должны быть продолжены исследования по выявлению и возможному устранению повышенных местных нагревов, концентраторов механических напряжений и мест повышенных напряженностей электрического поля.

За прошедшее десятилетие в энергосистемах Украины усилились проблемы с поддержанием нормативных значений напряжения в электрических сетях высокого напряжения, приводящие к необходимости увеличения потребления ТГ реактивной мощности. Эти проблемы в последнее время обострились из-за общего снижения величины энергопотребления по стране и, как следствие, генерации реактивной мощности малонагруженными линиями ЛЭП 220-500 кВ и недостаточности средств компенсации реактивной мощности, (особенно в электросетях 500 кВ).

Потребление турбогенераторами избытка реактивной мощности из сети позволяет несколько снизить уровни напряжения при «провале нагрузки» в системе, но, со временем, это приводит к ускоренному износу ТГ, а, в ряде случаев, и к аварийным отключениям из-за разрушения торцевых зон активном стали статоров, т.к. серийные ТГ фактически не рассчитаны на эти режимы [5].

Одним из возможных способов решения проблемы является применение ТГ нового асинхронизированного типа (АСТГ). В отличие от синхронных ТГ обычного типа, АСТГ обладают большими пределами устойчивости, повышают качество отработки динамических режимов. Снятие проблемы устойчивости и совершенствование конструкции торцевой зоны позволяет обеспечить работу АСТГ в режимах глубокого потребления реактивной мощности без ущерба для их технического состояния, что и объясняет их более высокую степень надежности.

Современные ТГ имеют гибкие роторы, для обеспечения балансировки которых необходим комплекс измерительной аппаратуры, позволяющий определять амплитуды и фазы вибраций не только подшипников, но и самих роторов в различных сечениях, а также производить гармонический анализ этих колебаний. Кроме того, в современных ТГ обычно нет демпферных обмоток. Их роль выполняют контуры вихревых токов, замыкающихся по массивным участкам стали.

Одно из новых направлений развития турбогенераторостроения связано с использованием явления сверхпроводимости. Применение сверхпроводимости в сочетании с беспазовой конструкцией статора даст возможность снизить массу ТГ в 2-2,5 раза и одновременно повысить их КПД на 0,6- 0,7 %; Уже создан опытно-промышленный сверхпроводниковый ТГ мощностью 20 МВА при частоте вращения 3000 мин⁻¹ и создается опытный генератор мощностью 300 МВт, 3000 мин⁻¹. Активный переход к сверхпроводниковым ТГ ограничивается высокой стоимостью высокотемпературных сверхпроводников [4].

Для охлаждения в ТГ применяют воздух, водород, дистиллированную воду и трансформаторное масло, Их физические свойства в относительных единицах (о.е.) приведены в табл. 1.

Таблица 1 -Свойства охлаждающих сред по отношению к воздуху, в о.е.

Среда	Плотность	Объемная теплоемкость	Теплопроводность	Теплоотводящая способность	Расход
Воздух	1	1	1	1	1
Водород при избыточном давлении, МПа:					
0,1	0,14	1,5	7,1	2,3	1
0,2	0,21	2,2	7,1	2,7	1
0,3	0,27	3,0	7,1	3,0	1
0,4	0,35	3,75	7,1	3,5	1
Масло трансформаторное	848	1400	5,3	21	0,01
Вода	1000	3500	23	60	0,01

В настоящее время достигнут следующий уровень использования систем охлаждения турбогенераторов;

- чисто воздушное – до 400 МВт (фирма «Альстон»);
- чисто водородное - до 800 МВт (фирма АВВ);
- водородно-водяное (только для обмотки статора) - до 1500 МВт.

По принципу охлаждения все ТГ можно разделить на машины с косвенным (поверхностным) охлаждением и непосредственным охлаждением проводников обмоток статора и ротора различными агентами, а также смешанным охлаждением. Типы ТГ с различными видами охлаждения представлены в табл. 2.

ТГ серии ТВМ мощностью 300 и 500 МВт и напряжением до 36,75 кВ охлаждаются трансформаторным маслом, воздухом и водой. Масло является хорошей изолирующей средой для обмоток статора (как и для мощных трансформаторов), что позволяет увеличить их напряжение до 36,75 кВ по сравнению с 20-24 кВ для генераторов с другими типами охлаждения.

В целях отделения объема статора, заполняемого маслом, от вращающегося ротора, внутри сердечника статора устанавливается цилиндр, изготовленный из изоляционного материала.

Таблица 2 - Типы турбогенераторов

Наименование серии*	Расшифровка	Система охлаждения		
		Обмотка статора	Сердечник статора	Обмотка ротора
Т2-2,5-2; Т2-4-2; Т2-6-2; Т2-12-2 («Электросила»); Т-2,5-2УЗ; Т-4-2УЗ; Т-6-2УЗ; Т-12-2УЗ (Лысьвинский завод)	Т - турбогенератор; 2 - вторая серия; 2,5 - мощность, МВт, 2 - двухполюсный, УЗ - климатическое исполнение и категория размещения	Косвенное воздушное	Непосредственное воздушное	Косвенное воздушное
ТВ2-30-2; В2-100-2; ТВ2-150-2 («Электросила»)	В - водородное охлаждение	Косвенное водородом	Непосредственное водородом	Косвенное водородом
ТВФн63*2ЕУЗ; ТВФ 110-2ЕУЗ {«Электросила»}	Ф - форсированное охлаждение ротора	Косвенное водородом		Непосредственное водородом
ТВВ - 160-2ЕУЗ; ТВВ - 220 -2ЕУЗ; 1 ВВ - 320 - 2ЕУЗ; ТВВ -500- 2ВУЗ; ТВВ -800-2ЕУЗ; ТВВ4000-2УЗ; ТВВ-1200-У 3	ВВ – водородно-водяное охлаждение, Е - единая серия	Непосредственное водой		Непосредственное водородом
ТГВ-200-2; ТГВ-2СО-2Д; ТГВ-200-МТ; ТВ-200-2М; ТГВ-300-2; ТГВ-500-2 («Электротяжмаш»)	ТГВ — турбогенератор с водородно-водяным охлаждением обмоток, М - модификация	Непосредственное водородом.	Непосредственное водородом	Непосредственное водородом
ТГВ - 500, 800, ТГВ-200-2М («Электротяжмаш»)		Непосредственное водой		Непосредственное водой
ТВМ-300, ТВМ-530 («Сибозлектротяжмаш»)	М — масляное охлаждение статора погружного исполнения, В — водяное охлаждение обмотки ротора	Непосредственное маслом		Непосредственное водой

* Число после первой черточки — мощность в МВт

Обмотка ротора ТГ серии ТВМ охлаждается водой, поверхность ротора воздухом, зубцы ротора — водой. В настоящее время в ТГ ТВМ масло заменяют негорючим жидким диэлектриком (совтол, клофен, пиранол и т.д.), табл. 3.

Таблица 3 - Технические данные турбогенераторов серии ТВМ ($\cos\varphi=0,85$)

Тип	Мощность активная, МВт	Напряже-ние статора, кВ	Ток стато-ра, кА	Напряже-ние возбу-ждения, В	Ток возбу-ждения, А	КПД, %
ТВМ-300-2	300	20	10,2	282	4420	98,8
ТВ М-500-2	500	36,75	9,24	430	5560	98,8

В целом большинство украинских ТГ имеет большую надежность, чем аналогичные ТГ в США, (Дженерал Электрик), но несколько меньшую, чем ТГ новейших серий фирм АВВ и Siemens/KWU. Повышать и дальше надежность позволит, например, переход от водородного и водо-водородного охлаждению, к ТГ с полным воздушным охлаждением.

Существующий многолетний опыт их применения показал, что это экономически целесообразно, что они более простые в эксплуатации и менее пожароопасные. В настоящее время происходит возвращение к воздушному охлаждению ТГ на новом техническом уровне и, прежде всего, с применением современных схем охлаждения, более современной терморепактивной корпусной изоляции обмотки статора, новой изоляции ротора, применению электротехнической стали с уменьшенными удельными потерями и современных конструктивных материалов и технологий. Разработана серия ТГ с воздушным охлаждением нового поколения мощностью от 63 до 220 МВт. Осуществлен выпуск ТГ мощностью 63 МВт, 110 МВт, 160 МВт. Обработывается прототип этой серии путем включения в нее ТГ мощностью 320 МВт. В мировой практике освоено серийное производство двухполюсных ТГ с воздушным охлаждением мощностью до 500 МВ А. Первые машины были тяжелее и крупнее по габаритам, чем «воздушные», теперь - даже легче, чем «водородные» старых конструкций.

Необходимость в создании ТГ с воздушным охлаждением нового поколения очевидна, что связано с такими их преимуществами, как отсутствие дорогих вспомогательных систем - водяного и водородного хозяйства и требующихся для них дополнительных систем и площадей, объемов и несущих конструкций. Эти преимущества «воздушных» ТГ особенно проявляются при реконструкции энергоблоков ТЭС с заменой старых генераторов, их вспомогательного оборудования и систем тиристорного возбуждения: (вместо электромагнитного) в условия ограниченного пространства для размещения, например, на ТЭЦ. Переход в полному воздушному охлаждению возможен за счет совершенствования существующих конструкций ТГ, для чего необходимо решать следующие задачи [4,5]:

- 1) на основе анализа мирового опыта и результатов исследований, разрабатывать, теоретически и экспериментально обосновывать оптимальные схемы компоновки ТГ;
- 2) необходимо разработать исследовать эффективные схем вентиляции, конструкцию и параметры вентиляторов, элементе вентиляционных систем;

3) необходимо разрабатывать внедрять в производство прогрессивные технологические процессы с применением современных материалов и оборудования;

4) следует освоить производство и исследовать свойства общей конструкции и узлов ТГ нового поколения с воздушным охлаждением, подтвердить их технологическую эффективность;

5) следует разработать конструкцию, отработать технологию изготовления, испытать в условиях эксплуатации АСТТ (типа ТЗФА-110-2) с воздушным охлаждением, подтвердить высокий уровень разработки, определить области допустимых и необходимых режимов применения.

Эти теоретические разработки, технологические и конструктивные решения направлены на усовершенствование конструкции, повышение надежности и других важных эксплуатационных показателей ТГ, таких, как:

- увеличение срока службы, повышение взрыво- и пожаробезопасности;
- увеличение межремонтных периодов;
- сокращение объема периодических ремонтов;
- повышение маневренности, в том числе обеспечение возможности работы в режимах с потреблением реактивной мощности;
- снижение трудоемкости и себестоимости производства ТГ.

Также, кроме высокой надежности, разработанные усовершенствованные конструкции узлов должны удовлетворять требованиям технологичности, повышению ремонтпригодности и обеспечению контроля в условиях эксплуатации.

В СССР к созданию машин с полным воздушным охлаждением приступили более 30 лет тому назад, В начале 90-х годов ГП «Электротяжмаш» (г. Харьков, Украина) разработал серию воздушных ТГ серии «ТА» в диапазоне мощностей от 120 до 320 МВт. В 2000 г, были завершены испытания и отгружен на Мироновскую ТЭС, где успешно эксплуатируется, головной образец серии ТА-120-2М-УЗ мощностью 120 МВт с полным воздушным охлаждением.

Основные технико-экономические преимущества ТГ с воздушным охлаждением:

- повышенный коэффициент готовности 0,997 - 0,998 по сравнению с 0,95 - 0,995 для ТГ с непосредственным водородным и жидкостным охлаждением;
- значительно упрощены условия эксплуатации и ремонта, сокращающие сроки и стоимость ремонтов;
- простота конструкции, предопределяющая сокращение периода разработки и внедрения головных образцов;
- повышение маневренности;
- возможность создания облегченного корпуса, отсутствие масляных уплотнений, отсутствие необходимости применения дорогостоящих материалов для создания этих уплотнений;
- отсутствие систем водородного и водяного охлаждения, материалов и систем обеспечения этих систем (меди с присадкой серебра, уплотнительной резины, фторопластовых шлангов, полых медных проводников и т.д.).

Кроме всего вышперечисленного, следует принимать во внимание оценку стоимости ущерба от возможного пожара и от снижения расходов на создание систем противопожарной защиты.

Применение полного воздушного охлаждения в ТГ серии ТА возможно путем применения прогрессивных конструкторских и технологических решений:

1) для ротора следует применять непосредственное охлаждение обмотки с раздачей газа из подпазового канала по радиальным щелевидным отверстиям в медных Проводниках обмотки с выбросом нагретого газа в воздушный зазор;

2) сердечники статора и обмотка статора охлаждается воздухом по системе радиальных и аксиальных каналов без поступления воздуха, охлаждающего статор, в воздушный зазор, что снижает механические потери и нагрев охлаждающего газа:

3) применение косвенного охлаждения для обмотки статора возможно при использовании новой утоненной изоляции класса нагревостойкости «F», электротехнической стали толщиной 0,35 мм с низкими удельными потерями, снижением объема тока в пазу, благодаря применению несимметричных многопараллельных обмоток с числом параллельных ветвей, превышающие число полюсов (ТА-120-2М.УЗ), в сочетании с соединением фаз в треугольник (ТА-352МУЗ).

На заводе «Электротяжмаш» уже изготовлены ТГ с воздушной системой охлаждения мощностью 120 и 160 МВт. На базе имеющейся оснастки возможно изготовление генератора мощностью 200-220 МВт в активной длине 4 м (вместо 5 м у ТГВ-200 и ТГВ-200- 2М) с габаритами, позволяющими установить его на существующие фундаменты. Цены отечественных «воздушных» ТГ мощностью 220 МВт сравнялись с зарубежными фурмами и находятся на уровне 5-6 млн. долларов, но они уступают мировым аналогам по удельному соотношению мощности и веса. Но уже идет поиск решений по снижению этого показателя. Новые разработки конструкций ТГ направлены не только на повышение мощности в исходном габарите и на увеличение значения КПД, но и на уменьшение материалоемкости для повышения конкурентоспособности ТГ на мировом рынке, [6].

Воздушные ТГ требуют небольших изменений в системе вентиляции ТГ, установленных на станциях:

- демонтаж центробежного компрессора;

- модернизация осевого вентилятора, что может быть выполнено и апробировано в процессе очередного ремонта на установленных на станциях ТГ без транспортировки их на завод - изготовитель.

Выполнение указанных работ по модернизации может послужить основой для поставки машин серии ТАВ-320 для замены действующих генераторов ТГВ-300,

Таблица 4 - Значения мощности и веса турбогенераторов серии ТА и ТЗФ с воздушной системой охлаждения

Тип	Мощность, МВт	Масса, т	Производитель
ТЗФ-120-2	120	178	«Электросила»
ТА-120-2	120	257	«Электротяжмаш»
ТА-160-2	160	300,5	«Электротяжмаш»
ТЗФП-160-2М	160	243	«Электросила»
ТЗФ-220-2	220	268	«Электросила»
ТЗФ-350-2	350	280	«Электросила»

Таблица 5 - Сравнение мощности и массы турбогенераторов производства завода «Электротяжмаш» с водородным (серия ТГВ, ТВВ) и воздушным охлаждением

Водородное охлаждение			Воздушное охлаждение		
Тип	Мощность, МВт	Масса, т	Тип	Мощность, МВт	Масса, т
ТГВ-200-2М	200	321	ТА-160-2	160	300,5
ТГВ - 300-2	300	364	ТА-200-2*	200	264
ТГВ - 300*5	500	495	ТА-350-2*	350	303,5
ТВВ - 1000-2	1000	561	-	-	-

* Проект находится на стадии разработки.

К числу ограничений, которые необходимо соблюдать при проектировании ЭМ, наряду с максимально допустимыми механическими и электрическими нагрузками, величиной допустимых температур активных элементов конструкций и возможностью осуществления технологических операций, относятся нормативы по установлению массогабаритных параметров конструкций. Последние характеризуют эффективность геометрии машины, степень рациональности выбора и использования конструкционных материалов и трудоемкость технологических операций. Общему прогрессу электромашиностроения всегда сопутствует оценка его конкурентоспособности, одним из главных критерием которых являются массогабаритные характеристики ТГ.

В табл. 4 приведены данные сравнительного анализа конструкций ТГ украинского («Электротяжмаш») и российского производства («Электросила», г. С. Петербург) [5], для сравнения соотношения мощности машин и их весовых показателей. Условное соотношение веса активной и неактивной частей составляет, соответственно, 85% и 15%.

Из данных табл. 4 следует, что вес ТГ завода «Электротяжмаш» остается выше российской продукции. Но возможно уменьшение массы ТГ при переходе от водородного к воздушному охлаждению путем внесения изменений в конструкции неактивной зоны ТГ [6]. В табл. 5 приведены данные этих машин.

Изменения в конструкцию неактивной зоны должны быть направлены на обеспечение технических и технологических требований эксплуатации ТГ, а именно:

- * обеспечение достаточной механической прочности конструкции;
- * соблюдение герметичности газового пространства;
- * учет особенностей компоновки газоохладителей.

При реабилитации и модернизации ТГ непосредственно на действующих блоках 200-500 МВт следует выполнить ряд технических и организационных мероприятий, которые позволят повысить режимную маневренность ТГ и упростить конструкцию:

- создание менее газоплотного, т.е. дешевого и легкого, корпуса;
- возможность убрать масляные уплотнения вала;
- снятие водородной и/или водяной систем охлаждения и маслоснабжения уплотнений вала.

Следует также отметить отсутствие при изготовлении ТГ остродефицитных материалов, например, уплотнительной резины, фторопластовых шлангов, полых медных проводников и др.

Новая серия ТГ с воздушным охлаждением проектируется с учетом возможности их установки на фундаменты машин аналогичной мощности с водородным и водо-водородным охлаждением, которые отработали свой ресурс. В первую очередь они могут быть установлены взамен генераторов 100, 150 и 200 МВт. Для такой замены в настоящее время рассматриваются генераторы 120 и 200 МВт Бурштынской и Змиевской ТЭС, а также Ровенской АЭС.

ВЫВОДЫ:

1. ТГ - основной вид генерирующего оборудования, наиболее сложный тип электрических машин, в которых сочетаются различные проблемы: получение предельной мощности, оптимизация массогабаритных показателей, получение высоких значений электромагнитных характеристик, обеспечение допустимого нагрева и достаточного охлаждения, обеспечение высокой статической и динамической прочности элементов конструкции, максимальной эксплуатационной надежности, экономичности и т.д.

2. При оценке направлений развития современного турбогенераторостроения необходимо учитывать приоритеты совместного развития мировой экономики и промышленности, технологические ресурсы и экологические возможности, энергетические, политические, демографические проблемы, а также необходимость учета взаимного влияния всех указанных факторов друг на друга. Иными словами, целесообразно применять комплексный подход.

3. Работы по совершенствованию конструкции, повышению качества и экономичности ТГ должны вестись с учетом усиления конкурентной борьбы за право поставок энергетического оборудования на мировой рынок, что требует проведения работ, в том числе и по такому фактору, как снижение массогабаритных показателей ТГ.

4. При выборе конструкции ТГ и обеспечении требований его надежности необходимо учитывать широкий спектр характеристик электроприемников энергосистемы и динамичность режимов эксплуатации.

5. Необходимо проводить широкое внедрение комплексных систем технической диагностики в режимах on-line, при плановых и аварийных ремонтах для своевременного выявления предаварийного состояния машин, устранения имеющихся неисправностей и исключения длительного простоя ТГ из-за аварийного выхода из строя.

6. Актуален вопрос повышения единичной мощности ТГ, т.к. это является одним из реальных направлений энергосбережения. Это возможно, т.к. общая мощность энергосетей стала выше, т.е. устойчивее в случае внезапного отключения мощного генерирующего элемента системы. Рост единичной мощности ТГ приводит к снижению удельных затрат на материалы, на удельные капиталовложения при сооружении станций и, в результате, к снижению стоимости электроэнергии. Также перспективно рассмотрение использования сверхпроводимости в турбогенераторостроении, что позволит снизить массу ТГ и повысить КПД.

7. Для обеспечения устойчивости работы энергосистемы необходимо, чтобы ТГ регулировали (чаще - потребляли) из сети избыток реактивной мощности, Классические ТГ не рассчитаны на эти режимы, поэтому одним из возможных способов решения проблемы является применение ТГ нового, асинхронизированного типа.

8. Современные исследования в турбогенераторостроении в мировой практике направлены на отказ в ТГ мощностью до 300 МВт и более от водородного охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шевченко ВВ.* Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине // Энергетика та електрифікація. - 2007, - № 7(287). СЛ1 16.

2. *Шевченко В. В.* Пути преодоления возможного энергокризиса в энергосистеме Украины // Збірник наукових праць Донецького Інституту залізничного транспорту - 2012. - № 29. - С. 77- 81.

3. *Шевченко В.В., Лизан И.Я., Шевченко С.Е.* Проблемы, перспективы и основные направления развития электроэнергетики и электрооборудования Восточной Украины // Актуальні проблеми економічною і соціального розвитку регіону: Збірник матеріалів регіональної НПК. - Красноармійськ: КП ДонНТУ. - 2007. – С. 369 383.

4. *Шевченко В.В., Шевченко С.Е., Шуджан Р.Л.* Предложения по использованию сверхпроводников в электротехнических устройствах // Системи обробки інформації. Харківський університет повітряних сил. - 2007. - Вып. 1(13). - С. 96-101.

5. *Шевченко В.В., Минко А.Н.* Сравнительная оценка массогабаритных параметров турбогенераторов с воздушной и водородной системами охлаждения // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ». - 2010. № 3 - С. 108-112.

6. *Кузьмин В.В., Шевченко В.В., Минко А.Н.* Оптимизация массогабаритных параметров неактивных частей турбогенераторов. - Харьков: Монограф СПДФД Частышев А.В. – 2012. - 248 с.