

УДК 621.313.322-81

**Шевченко В. В.**, канд. техн. наук

### **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ**

***Аннотация.** Рассмотрены направления проведения работ по совершенствованию конструкций отечественных турбогенераторов с целью сохранения их конкурентоспособности на мировом рынке за счет использования современных достижений в области крупного электромашиностроения, в частности, путем замены в крупных турбогенераторах водородного охлаждения на воздушное и совершенствования конструктивных элементов.*

***Ключевые слова:** турбогенератор, конкурентоспособность, надежность, водородное охлаждение, воздухоохладители, энергоэффективность, коэффициент готовности, эксплуатационная маневренность.*

**Шевченко В. В.**, канд. техн. наук

### **ДО ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ**

***Анотація.** Розглянуто напрямки проведення робіт з удосконалення конструкцій вітчизняних турбогенераторів з метою збереження їх конкурентоспроможності на світовому ринку за рахунок використання сучасних досягнень в області потужного електромашинобудування, зокрема, шляхом заміни у великих турбогенераторах водневого охолодження на повітряне і вдосконалення конструктивних елементів.*

***Ключеві слова:** конкурентоспроможність, надійність, водневе охолодження, повітроохолоджувачі, енергоефективність, коефіцієнт готовності, експлуатаційна маневреність*

**Shevchnko V. V.**, канд. техн. наук

### **TO ISSUE OF ENSURING OF COMPETITIVENESS OF DOMESTIC TURBOGENERATORS**

***Annotation.** Areas of work on improving the design of domestic turbogenerators are considered to retain their competitiveness in the global market through the use of the latest achievements in the field of large electric machines. This can be achieved by replacing the cooling by hydrogen on the air cooled in large turbogenerators and improvement of the structural elements.*

***Keywords:** turbogenerator, competitiveness, reliability, cooling by hydrogen, air coolers, energy efficiency, availability factor, the operational maneuverability*

**Введение.** Электротехническая отрасль должна быть способной предложить промышленности новые решения в области создания энергоэффективного оборудования. Учитывая не только физическое, но и моральное старение большей части выпускаемой в настоящее время продукции, необходимо разрабатывать и поставлять на рынки новые, перспективные поколения электротехники.

Мировая практика обновления технологий производства в области электротехники определяет необходимость проведения модернизации оборудования в среднем раз в 8–10 лет, но в массовом масштабе в промышленности Украины обновление электротехнических установок не проводилось с 80–90-х г.г. 20 века, [1]. В соответствии с «Обновленной Энергетической стратегией Украины на период до 2030 г.», основной задачей обеспечения энергетической безопасности Украины, как и других стран, является повышение технико - экономических характеристик основного генерирующего оборудования – турбогенераторов (ТГ): расширение эксплуатационного диапазона изменения нагрузок, продление срока службы, применение новых конструктивных решений и теплоносителей, повышение качества

ремонтных работ, что в результате приводит к повышению надежности и конкурентоспособности.

**Постановка задачи.** С точки зрения затрат энергии украинская экономика является неконкурентоспособной. По данным International Finance Corporation, [2,3], энергоемкость ВВП на 1 дол. в Украине приблизительно в два раза выше, чем в среднем в мире. Основная причина этой проблемы - морально и физически устаревшее электрооборудование промышленных предприятий и электростанций. Кроме того, в настоящее время в энергосистеме Украины усилились проблемы с поддержанием нормативных значений напряжения и частоты, что вызвано изменением энергопотребления, режимов работы и типов энергоприемников. Общее снижение величины электропотребления усилило генерацию реактивной мощности малонагруженными ЛЭП 220-500 кВ и обострило недостаточность существующих средств компенсации реактивной мощности. Это поставило задачу пересмотра требований к эксплуатационным характеристикам ТГ на блоках электростанций в режимах, отличных от номинальных. Известно, что потребление ТГ избыточной реактивной мощности из сети позволяет несколько снизить уровни напряжения при

«провалах» нагрузки, с другой стороны, эксплуатация с повышенным коэффициентом мощности позволяет обеспечивать покрытие «пиков» нагрузки. Современные ТГ вынуждены работать в энергосистемах в сложных условиях: при изменяющихся значениях частоты и напряжения, при систематических пусках и остановах, при изменяющихся динамических воздействиях на элементы конструкции, что приводит к появлению крутильных колебаний, ударных токов, к неточной синхронизации и т.д. Эксплуатация ТГ в неноминальных режимах вызывает ускоренный износ и аварийные отключения из-за разрушения отдельных элементов, т.к. серийные ТГ не рассчитаны на эти режимы.

Поэтому так важно проводить работы по исследованию и внедрению новых решений в тех областях, где продукция, выпускаемая национальной промышленностью, еще находится на мировом уровне и может конкурировать с продукцией ведущих мировых фирм. В частности, это относится к выпуску крупных генераторов для тепловых (ТЭС, АЭС) и гидроэлектростанций (ГЭС, ГАЭС).

В Украине выпуск этой продукции производится на Государственном предприятии Завод (ГПЗ) «Электротяжмаш», г. Харьков.

**Материал исследования.** В настоящее время совершенствование электротехнической продукции, кроме обычных требований: повышение надежности, снижение себестоимости с одновременным повышением мощности и КПД в единице исполнения за счет внедрения новых технологий, материалов и т.д., - обязано идти с учетом сопутствующих требований. В первую очередь, это повышенные требования энергосбережения, что определяется природно-экологической ситуацией, и, во-вторых, развитие новых направлений производственной деятельности предприятий, связанных с вопросами продления сроков службы электрооборудование, которое, согласно технической документации, отработало срок эксплуатации. Последнее направление активно развивается во всех

странах и определено общемировым экономическим спадом. В качестве примера можно привести решения по продлению в 2 раза сроков эксплуатации электрооборудования АЭС США, на 10-15 лет - многих европейских государств, в том числе, России, [2,4].

Традиционно национальные производственные технологии не отличаются экономичностью. В Советском Союзе практически не стоял вопрос снижения потребления основных энергоносителей - газа и электроэнергии, стоимость которых была низкой. В настоящее время это положение изменилось, изменился и потребитель промышленного оборудования, и, в первую очередь, крупных турбогенераторов, что предъявляет повышенные требования к их экономичности, качеству и эксплуатационной надежности.

Высокий уровень конкурентной борьбы на рынке промышленных товаров вынуждает завод – изготовитель ТГ проводить расширенные испытания, обеспечивать дополнительные виды диагностики узлов и деталей, тепловой контроль и вибродиагностику в режиме *on-line*. Стало обязательным заносить эксплуатационные данные в техническую базу-накопитель, чтобы в дальнейшем у потребителя можно было провести мониторинг, проследить за работой оборудования в течение длительного периода, и, в случае необходимости, провести сервисное обслуживание и/или своевременный ремонт. При этом в промышленности Украины, особенно в электроснабжении, сложилась ситуация, что основное электрооборудование на 90 % и более отработало свой технический ресурс, [2-4].

Одновременно, в короткие сроки полностью заменить устаревшее электрооборудование невозможно из-за ограниченности материальных средств, что сделало необходимым проводить работу по проверке установленного оборудования и продлевать срок службы по данным диагностики его технического состояния. Поэтому первоочередной задачей является обеспечение сотрудничества между предприятиями - изготовителями ТГ, предприятиями по их сервисному обслуживанию и электростанциями с целью увеличения эксплуатационного срока за счет внедрения

современных систем контроля качества и сервисного обслуживания, [3].

Также необходимо научно-техническое сотрудничество между предприятием - изготовителем и ремонтными заводами, научными учреждениями для получения новых комплектующих и материалов, сделать возможным доступ к мировой научной информации, к оказанию информационного содействия на рынке услуг по сервисному обслуживанию и ремонту, как на территории Украины, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Реальный экономический эффект от применения нового электрооборудования определяется различными факторами. Расходы на электроэнергию в течение жизненного цикла электрооборудования составляют до 60 % всех эксплуатационных затрат, расходы на приобретение самого оборудования – только 5÷10 %. Если понимать эффект, как сумму всех преимуществ, которые возникают при эксплуатации более совершенного электрооборудования, то, кроме технических преимуществ энергоэффективного оборудования и экономии расходов на электроэнергию, следует учитывать снижение расходов на техобслуживание, а также на весь комплекс дополнительных услуг по консультациям, диагностике и сервису.

Ввод энергоэффективного оборудования должен проходить комплексно. Основные стратегические направления обеспечения энергоэффективности промышленного производства следующие, [3]:

1) снижение технологических потерь электроэнергии в системах электроснабжения и потерь из-за неточных метрологических характеристик приборов учета;

2) снижение затрат на природно - энергетические ресурсы;

3) снижение влияния на оборудование чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера;

4) качественная и современная диагностика технического состояния энергетического оборудования, [4];

5) снижение затрат в коммунальном и жилищном хозяйстве на электроэнергию и теплоснабжение.

Основным элементом любой электростанции является генератор, его совершенство и надежность работы во многом обеспечивает энергоэффективность работы всего цикла. За последние 50 лет максимальная единичная мощность ТГ возросла в 7–7,5 раз: от 200 до 1500 МВт, [4].

Мощность и качество машин (т.е. конкурентоспособность) можно увеличивать за счет:

- интенсификации процессов охлаждения обмоток и сердечников статора и ротора, отдельных конструктивных элементов;

- использования современных технологий и электроизоляционных материалов, электротехнических сталей и поковок с более низкими удельными потерями, высокими прочностными характеристиками;

- создания новых видов формирующихся материалов для крепления обмоток;

- изучения и расширения допустимых пределов режимов работы сверхмощных ТГ в энергосистемах при нормальных и аварийных условиях, при необходимости регулирования параметров сети и т.д.

В частности, одним из современных направлений выхода на международный уровень является создание «воздушных» турбогенераторов, т.е. ТГ, у которых в системе охлаждения проведена полная замена водорода на воздух. Исследования в мировой практике турбогенеростроения направлены на отказ от водородного охлаждения в ТГ мощностью до 300 МВт (а некоторые зарубежные фирмы указывают и более высокий предел мощности, [2,5]) и на перевод их на полное воздушное охлаждение. Это возможно при использовании следующих технических решений:

- использование схемы вентиляции с более интенсивной циркуляцией воздуха и непосредственным охлаждением обмоток;

- применение электротехнических сталей с малыми удельными потерями и изоляции более высокого класса нагревостойкости.

При смене охлаждающей среды в ТГ необходимо вносить следующие конструктивные изменения:

1) корпус и конечные зоны ТГ с воздушным и водородным охлаждением имеют существенные отличия. Конечные зоны «водородного» корпуса ТГ – это сложные и тяжелые

подшипниковые щиты, рис. 1,*a,b*. В «воздушном» ТГ внутренний и внешний щиты выполняют только защитную функцию, рис. 1,*c,d*;

2) для ротора с воздушным охлаждением следует применять непосредственное охлаждение обмотки с трехструйным распределением воздуха: в подпазовый канал, по радиальных щелевидным отверстиям в проводниках обмотки ротора с выбросом газа в воздушный зазор и через каналы клина, рис. 2;

3) при использовании косвенного воздушного охлаждения из пазов, где размещается обмотка статора, удаляют водородные каналы и за счет этого увеличивается сечение проводников, [2,4].

Практика создания на ГПЗ «Электротяжмаш» ТГ с воздушным охлаждением позволяет отметить, что:

- повышается коэффициент готовности до  $0,997 \div 0,998$  (по сравнению с  $0,95 \div 0,995$  для ТГ с водородным охлаждением), повышается диапазон эксплуатационной маневренности;
- упрощается конструкция, условия эксплуатации и ремонтов, снижаются массогабаритные показатели «неактивной» зоны ТГ;
- значительно повышаются взрыво- и пожаробезопасность;
- упрощается процедура полной автоматизации и диагностики состояния турбогенераторов в режиме *on-line*;
- исключение из конструкции систем охлаждения водорода, уплотнителей и маслообеспечения уплотнений вала, (рис. 1), позволяет использовать менее газоплотный корпус;
- нет необходимости использовать при изготовлении остродефицитные материалы: резиновые уплотнители, фторопластовые шланги, полые медные проводники и др.

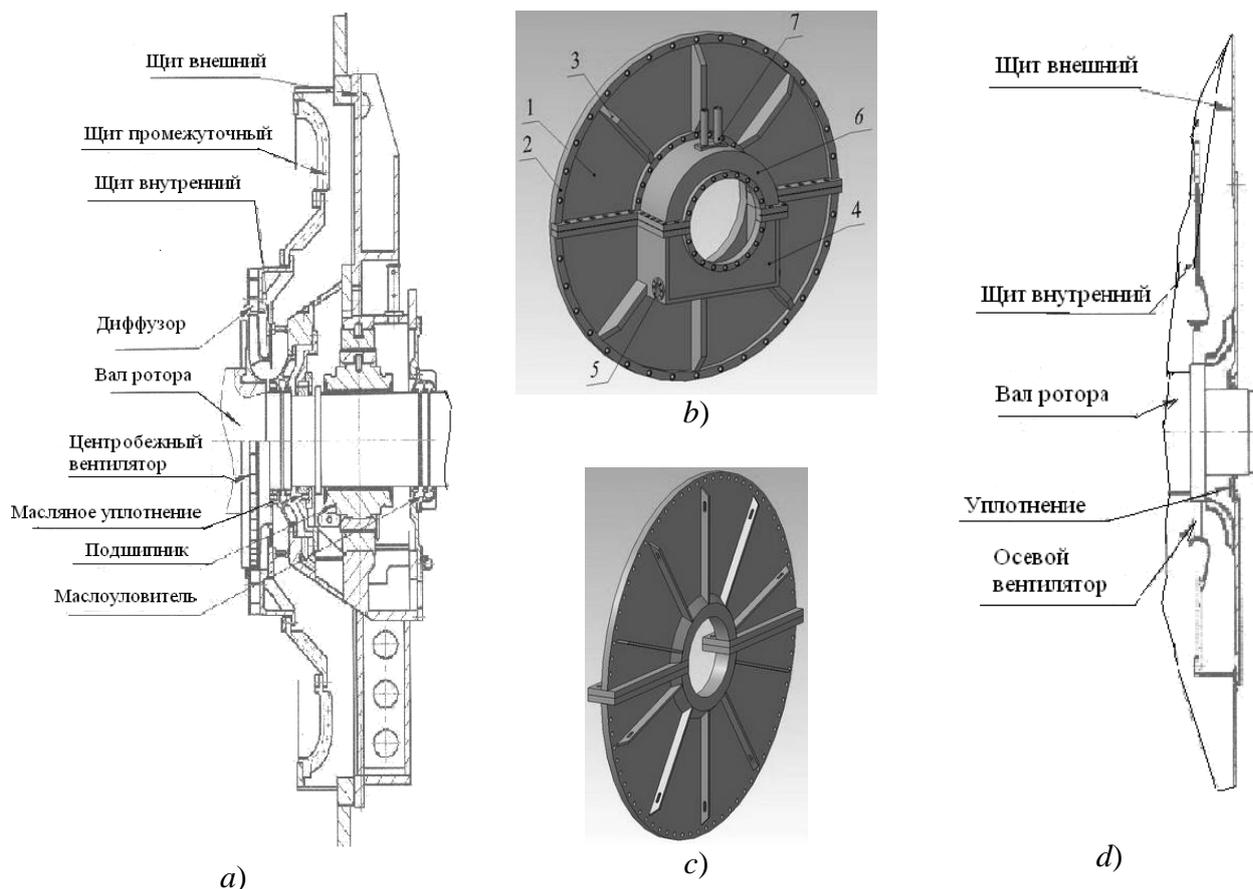


Рисунок 1 - Конструкция наружных щитов ТГ с водородной (*a, b*) и воздушной (*c, d*) системами охлаждения: 1 – основная стенка (диск), 2 – присоединительный фланец, 3 – наружные ребра жесткости, 4 – картер подшипника, 5 – фланец для слива/подачи масла в подшипники, 6 – крышка подшипника, 7 – вытяжные трубы

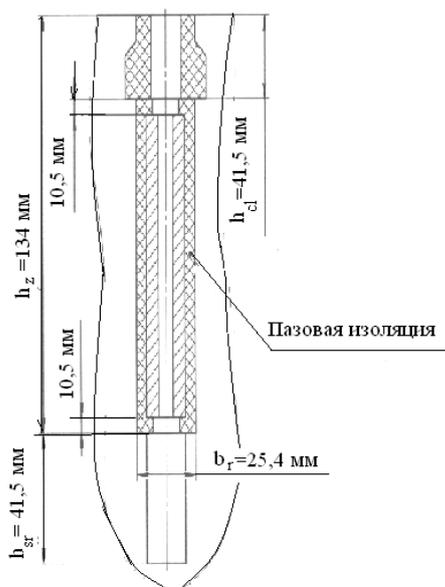


Рисунок 2 – Пример заполнения паза ротора ТГ с полным воздушным охлаждением

К экономическим преимуществам следует отнести отсутствие необходимости защиты от возможного пожара или взрыва водорода и, соответственно, снижение затрат на защиту от них.

**Выводы:** 1. Для отечественных ТГ необходимо выполнять замену теплоносителя: водорода на воздух, - определяя верхнюю границу мощности «воздушных генераторов», согласно заявленным мировым показателям, в 500 МВт.

2. В турбогенераторах с водородными системами охлаждения существует избыточный запас в 20-25 % по превышению температуры допустимого нагрева (по отношению к допустимой температуре нагрева при используемых классах нагревостойкости изоляции).

Современная тенденция отказа от service-factor-a, делает возможным проектировать новые ТГ с прежними (и большими) значениями мощности на базе конструкций ТГ с водородным охлаждением, но с охлаждением воздухом, что позволит соответствовать мировым стандартам.

#### Список использованной литературы

1. Gateway to Ukraine. Аналитический портал на базе украинской и мировой экономической статистики. Информационно-аналитическое агентство «Статинформ-

консалтинг». Статистика Украины и мира. Информационно-аналитические решения для энергетической отрасли. – 2015. Адрес доступа: <http://gateway-ukraine.com/Demo/>

2. Шевченко В.В. Перспективная оценка совершенствования энергетической системы Украины [Текст] / В.В. Шевченко // *Электрика*. – Москва: - 2012. - № 9. - С. 10–15.

3. Шевченко В.В. Сравнительная оценка массогабаритных параметров турбогенераторов с воздушной и водородной системами охлаждения [Текст] / В.В. Шевченко, А.Н. Минко // *Вестник НТУ «ХПИ»*. - Харьков: – 2010. - № 3. - С. 108–112.

4. William G. Moore. Inspection, repair and rewind experience on large, air-cooled, high voltage generators [Text] / G. William // *National Electric Coil*. - USA. – CIGRE. – A1\_213\_2010. - P.p. 1-13.

5. Шевченко В. В. Прогнозирование эксплуатационного состояния турбогенераторов [Текст] / В. В. Шевченко // *Электрика*. – Москва: – 2015. - № 1. – С. 3-7.

6. Шевченко В. В. Модернизация конструкций отечественных турбогенераторов с учетом требований поддержания их конкурентоспособности [Текст] / В.В. Шевченко // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. - № 38(1081). - С.146-155.

7. Шевченко В.В. Системный подход к вопросам оценки технического состояния электрооборудования энергосистем Украины [Текст] / В.В. Шевченко // *Электрика* – Москва: - 2013 -№ 1. – С. 6–11.

8. Maljkovic Z. Limits of turbine generator's underexcited operation [Text] / Z. Maljkovic // *XVII International Conference on Electrical Machines ICEM-2006*. - Chania–Greece. - 2006. – P.p. 69-33.

9. Klempner G. Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators [Text] / G. Klempner // *IEEE power & energy magazine*. - July/august 2005. - P.p. 60-62.

10. Горелин А.Х. Состояние и развитие диагностического обеспечения энергоблоков ТЭС Украины [Текст] /

А.Х. Горелин, М.А. Дуэль // Энергетика та електрифікація. - Київ: 2008. - № 12. – С. 6 – 12.

Получено 30.04.2016

### References

1. Gateway to Ukraine. Analiticheskiy portal na baze ukrainskoy i mirovoy ekonomicheskoy statistiki. Informatsionno-analiticheskoe agentstvo «Stainformkonsalting». [Analytical portal on the basis of Ukrainian and world economic statistics. "Stainformconsulting" information-analytical agency. Statistics of Ukraine and the world. Information-analytical solutions for the energy industry]. - *Statistika Ukrainyi i mira. Informatsionno-analiticheskie resheniya dlya energeticheskoy otrasli.* – 2015. (In Russian). Available at: <http://gateway-ukraine.com/Demo/>
2. Shevchenko V.V. Perspektivnaya otsenka sovershenstvovaniya energeticheskoy sistemy Ukrainyi [Prospective evaluation of improving the energy system of Ukraine]. - *Elektrika. – Moskva* - Moscow: - 2012. - № 9. – P.p. 10–15. (In Russian).
3. Shevchenko V.V., Minko A.N. Sravnitel'naya otsenka massogabaritnykh parametrov turbogeneratorov s vozduшной i vodorodnoy sistemami ohlazhdeniya [Comparative evaluation of the weight and size parameters turbogenerators with air and hydrogen cooling systems]. - *Vestnik NTU «HPI».* – Kharkov: – 2010. - № 3. – P.p. 108–112. (In Russian)
4. William G. Moore. Inspection, repair and rewind experience on large, air-cooled, high voltage generators [Text] / G. William // National Electric Coil. - USA. – CIGRE. – A1\_213\_2010. - P.p. 1-13. (In English)
5. Shevchenko V.V. Prognozirovanie ekspluatatsionnogo sostoyaniya turbogeneratorov [Prediction of the operational condition of turbogenerators]. - *Elektrika. – Moskva.* - Electrics. - Moscow: - 2015. - № 1. – P.p. 3-7. (In Russian)
6. Shevchenko V.V. Modernizatsiya konstruktsiy otechestvennykh turbogeneratorov s uchetom trebovaniy podderzhaniya ih konkurentosposobnosti [The modernization of structures of domestic turbogenerators based on maintaining their competitiveness requirements] - *Vestnik Nacionalnogo tehnikeskogo universiteta «HPI».* Sbornik nauchnykh rabot. – Kharkov: - Bulletin "KPI" National Technical University. Collection of scientific works. - – 2014. - № 38(1081). – P.p. 146-155. (In Russian).
7. Shevchenko V.V. Sistemnyy podhod k voprosam otsenki tehnikeskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya energosistem Ukrainyi [System approach to evaluate the technical condition of electrical power systems of Ukraine] - *Elektrika. – Moskva.* - Moscow: - Electrics. - 2013. - № 1. – P.p. 6-11. (In Russian)
8. Maljkovic Z. Limits of turbine generator's underexcited operation [Text] / Z. Maljkovic // XVII International Conference on Electrical Machines ICEM-2006. - Chania–Greece. - 2006. – P.p. 69 - 33. (In English).
9. Klempner G. Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators [Text] / G. Klempner // IEEE power & energy magazine. - July/august 2005. - P.p. 60-62. (In English).
10. Gorelin A.H., Duel M.A. Sostoyanie i razvitie diagnosticheskogo obespecheniya energoblokov TES Ukrainyi Energetika ta elektrifikatsiya [Status and development of diagnostic maintenance units TPP Ukraine]. - *Energetika ta elektrifikatsiya* - Kyiv: - Energy and Electrification. - 2008. - № 12. – P.p. 6 – 12. (In Russian).



Шевченко Валентина Владимировна, к. т. н., доцент, профессор кафедры электрических машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», 61002, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичева, 21, НТУ «ХПИ»  
тел.: +38-050-407-84-54  
e-mail: zurba-gan\_@mail.ru