ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКА ЭНЕРГОАУДИТ

Energy saving • Power engineering • Energy audit

№ 2 (145) февраль 2016

Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал

Редакционный совет

Бабаев В. Н. – председатель
Колесников А. А. – зам. председателя
Мехович С. А. – зам. председателя
Безъязычный В. Ф. **Сокол Е.И.**
Глаголев С. Н. **Товажнянский Л. Л.**
Дупак А. С. **Фадеев В. А.**
Зубрейчук А. С. **Шкодовский Ю. М.**

Редакционная коллегия

Мехович С. А., канд. экон. наук, профессор, академик АН ВО Украины, главный редактор
Бекбаев А. Б. д-р техн. наук, профессор, г. Алма-Аты, Казахстан,
Бойко А. В., д-р техн. наук, профессор
Говоров Ф. П., д-р техн. наук, профессор, вице-президент АН Высшего образования Украины
Грабченко А. И., д-р техн. наук, профессор, академик АН Высшего образования Украины
Дерзский В. Г., д-р техн. наук
Ефимов А. В., д-р техн. наук, профессор, академик АН Высшего образования Украины
Ильяшенко С. Н., д-р экон. наук, профессор
Клепиков В. Б., д-р техн. наук, профессор, академик инженерной АН Украины
Ковалец Мечислав, д-р техн. наук, профессор, г. Познань, Польша
Коринько И. В., д-р техн. наук, профессор
Коциски Дёрдь, д-р экон. наук, профессор, г. Мишкольц, Венгрия
Мамалис Анастасис, д-р техн. наук, профессор, г. Афины, Греция
Маляренко В. А., д-р техн. наук, профессор, академик АН Высшего образования Украины
Манойленко А. В., д-р экон. наук, профессор
Марченко А. П., д-р техн. наук, профессор, академик АН Высшего образования Украины
Маслак О. И., д-р экон. наук, профессор
Мацевитый Ю.М., д-р техн. наук,профессор, академик НАН Украины
Мысак И. С. д-р техн. наук, профессор
Мищенко В. А., д-р экон. наук, профессор
Онищенко Г. Б. д-р техн. наук, профессор г. Москва, Россия
Орлов П. А., д-р экон. наук, профессор
Перерва П. Г., д-р экон. наук, профессор
Прокопенко О. В. д-р экон. наук, профессор
Севостьянов В. С. д-р техн. наук, профессор, г. Белгород, Россия
Сокол Е. И., д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины
Фадеев В. А., канд. техн. наук
Черенков А. Д., д-р техн. наук, профессор
Чунашвили Б. М. д-р техн. наук, профессор, г. Тбилиси, Грузия
Шводнауэр Г. д-р экон. наук, профессор, г. Магдебург, Германия
ЯковлевА. И., д-р экон.наук, профессор, академик инженерной АН Украины

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Григорьев Александр Андреевич, Кологривов Михаил Михайлович
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ ЗАПАЛЬНО-ДЕЖУРНОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....2

Салихов Т. П., Кан В. В. Юсупов Д. Т.
АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА СИЛИКАГЕЛЕМ В СОЧЕТАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН.....14

Канюк Геннадий Иванович Бабенко Игорь Анатольевич, Козлова Марина Леонидовна, Сук Ирина Валентиновна, Мезеря Андрей Юрьевич
ОБ ОБЩИХ НАУЧНЫХ ПОДХОДАХ К СОЗДАНИЮ УНИФИЦИРОВАННЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ АСУ ТП.....20

ЭНЕРГЕТИКА

Шевченко Валентина Владимировна, Строкоус Антон Викторович
РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ.....33

НТП И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Бобух Анатолій Олексійович, Дзевочко Олександр Михайлович, Подустов Михайло Олексійович
АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯИ ТРЕНДУ.....43

Кологривів Михайло Михайлови, Сагала Тетяна Анатоліевна
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ РОЗІГРІВУ ЗМЕРЗЛИХ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ.....50

ПРО ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ за січень–грудень 2015 року.....60

ABSTRACTS.....70

ЮБИЛЕИ. СТОГНІЙ Борис Сергійович.....72

ОГЛЯД УКРАЇНСЬКИХ ЗМІ З ПРОБЛЕМ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ, січень 2016 р 73

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ.....74

ISSN 2313-8890 (Online), ISSN 2218-1849 (Print)

УДК 621.313.322

Шевченко Валентина Владимировна, канд. техн. наук, доц., профессор кафедры электрических машин
e-mail: zurbagan_@mail.ru, тел (+38) 050-407-84-54
Строкоус Антон Викторович, аспирант кафедры электрических машин;
e-mail: strokous@gazenergo.com, тел. (+38) 050-301-66-23
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В статье проанализированы вопросы особенности эксплуатации турбогенераторов на блоках электростанций при решении ими вопросов обеспечения устойчивости работы энергосистемы. Выполнена оценка возможности использования турбогенераторов для регулирования дефицита (спада и пиков) нагрузки в энергосистеме в зависимости от типа электростанции.

***Ключевые слова**: тип электростанции, турбогенератор, режим работы, параметры энергосистемы, регулирование параметров, неноминальный режим*

Шевченко Валентина Володимирівна, канд. техн. наук, доц., професор кафедри електричних машин
e-mail: zurbagan_@mail.ru, тел (+38) 050-407-84-54
Строкоус Антон Вікторович, аспірант кафедри електричних машин;
e-mail: strokous@gazenergo.com, тел. (+38) 050-301-66-23
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. *вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002*

РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ СТІЙКОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

У статті проаналізовано питання особливості експлуатації турбогенераторів на блоках електростанцій при вирішенні ними питань забезпечення стійкості роботи енергосистеми. Виконано оцінку можливості використання турбогенераторів для регулювання дефіциту (спаду і піків) навантаження в енергосистемі залежно від типу електростанції.

***Ключові слова:** тип електростанції, турбогенератор, режим роботи, параметри енергосистеми, регулювання параметрів, неномінальний режим*

Shevchenko Valentina Vladimirovna, Ph.D., docent, Professor of the Electrical Machines Department
e-mail: zurbagan_@mail.ru, tel. (+38) 050-407-84-54
Strokous Anton Viktorovich, Postgraduate of the Electrical Machines Department
e-mail: strokous@gazenergo.com, тел. (+38) 050-301-66-23
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine. *str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002*

MODES OF EXPLOITATION THE TURBOGENERATORS WITH THE REQUIREMENTS OF THE STABILITY THE WORK OF THE ENERGY SYSTEM

The article have been analyzes the questions of exploitation features of turbogenerators on the blocks of power plants at the decision them of questions to ensure the stability the work of the power grid. Modern turbogenerators must work in energy systems in difficult conditions: at lower frequency and voltage, during the systematic starts and stops, under varying dynamic effects on design elements. This leads to accelerated wear and emergency outages of turbogenerators, to the appearance of torsion vibration, shock currents, inaccurate synchronization, etc. Operating in such conditions requires install additional performance requirements of turbogenerators that operate on of power plants units in the mode without nominal modes and are not designed for these modes. It was performed assessment of the possibility of using of turbogenerators for load control deficiency (the recession and the increase of load) in the power system, depending on the type of power plants.

***Keywords:** type of power plant, turbogenerator, the operating mode, the parameters of the power system, the regulation of parameters, the mode without nominal parameters*

Введение

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 турбогенераторов (ТГ) на блоках электростанций в режимах, отличных от номинальных. Известно, что потребление турбогенераторами 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 турбогенераторов в неноминальных режимах вызывает ускоренный износ и аварийные отключения из-за разрушения отдельных элементов, т.к. серийные ТГ не рассчитаны на эти режимы, [1-3].

Задачей настоящего исследования, в связи с этим, является установление видов электростанций, где возможна длительная эксплуатация генераторов в неноминальных режимах, что необходимо для обеспечения поддержания параметров энергосистемы, и определение особенностей эксплуатации ТГ на блоках этих станций.

Изложение основного материала

Объединенная Энергосистема (ОЭС) Украины – большая и сложная сеть. Она включает магистральные и распределительные электрические сети и сетевое оборудование, различные виды электростанций: атомные (АЭС) и тепловые станции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС и ГАЭС), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), станции, работающие от возобновляемых источников (солнце, ветер, биотопливо), - которые рассредоточены по всей территории страны, но связаны одной общей сетью. В результате этого энергия от электростанции поставляется в любой регион, где она нужна в данный момент времени, и не зависит от территории ее размещения. При этом спрос на электроэнергию всегда разный и различается по времени суток, сезонам и годам:

1) в сутках есть два пика потребления: утро и вечер, когда потребляется наибольшее количество электроэнергии, и ночь - период провала энергопотребления. В украинской энергосистеме разница между пиком и провалом в течение суток составляет почти 25%, т.е. при минимальном спросе потребляется почти на четверть меньше энергии, чем при максимальном, [1];

2) в весенне-летний период пики потребления еще более выражены, рис. 1, [3,4]. Для прохождения ночного минимума нагрузки вынужденно освоен недогруженный режим работы ТЭС, иногда даже ниже минимально-допустимого состава по "живучести" станции. Утром и вечером выполняется подъем для прохождения максимума нагрузки. До 3-4 блоков мощностью 300 МВТ разгружают на 4-6 часов в сутки, иногда с полной остановкой на ночь, т.е. практически все базовые блоки ТЭС работают в переменных (пиковых) режимах.

Экономический спад и политическая ситуация в Украине в целом определили значительное снижение потребления электроэнергии. Так, на рис. 2 представлены данные об изменении (снижении) потреблении электроэнергии в декабре за три последних года, [3,4]. В табл. 1 приведены данные сравнительного анализа производства и, соответственно, потребления электроэнергии в ОЭС Украины за январь-февраль 2015 и 2016 г.г., где видно снижение потребления электроэнергии. И объяснить это снижение внедрением менее энергоемкого электрооборудования не представляется возможным, [5].

Количество турбогенераторов, которые вынужденно останавливают на ночные «провалы», особенно в весенне-летний период, достигает иногда 10-ти и более блоков. В табл. 2 приведена информация о неравномерности суточных графиков покрытия и диапазоне регулирования генерирующего оборудования в 2014 году, [3,5]. Согласно требованиям «Правил оптового рынка электроэнергии (ОРЭ) Украины», регулирование неравномерности

суточного графика в режиме пуска-останова может осуществлять только энергоблоками мощностью не более 200 - 300 МВт.

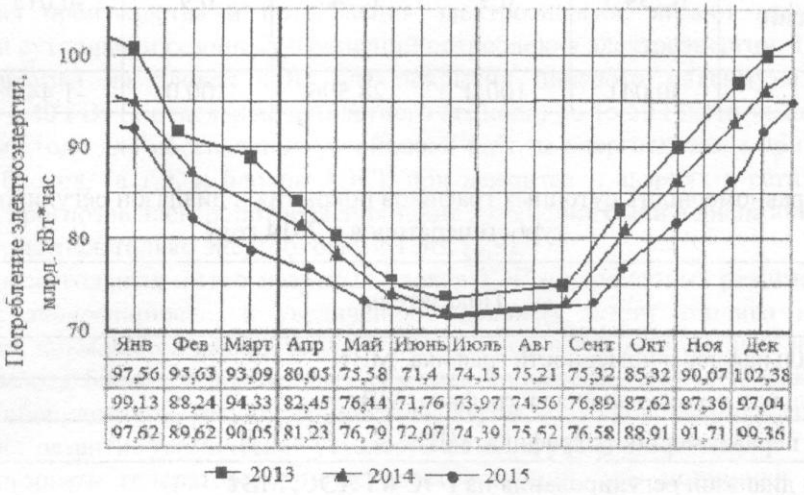

Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии по месяцам 2013-2015 г.г.

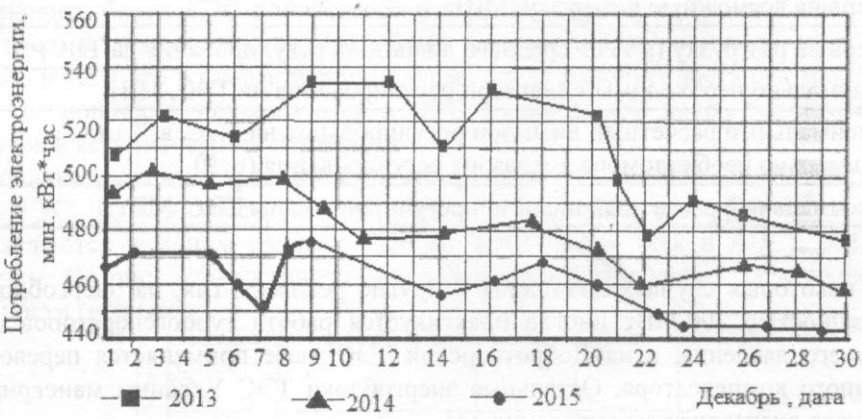

Рис. 2. Динамика потребления электроэнергии в декабре 2013- 2015 г.г.

Таблица 1

Производство электроэнергии в ОЭС Украины за январь-февраль 2015 и 2016 г.г.

Производители электроэнергии	Январь, февраль 2015		Январь, февраль 2016		Изменение, млрд. кВт·час	Изменение, %
	млрд. кВт·час	часть от общего производства, %	млрд. кВт·час	часть от общего производства, %		
АЭС	16,198	53,9	15,578	54,5	-0,621	-3,8
ТЭС	8,953	29,8	8,222	28,8	-0,732	-8,2
ТЭЦ	1,848	6,1	1,862	6,5	0,015	0,8
ГЭС и ГАЭС	1,457	4,8	1,142	4,0	-0,315	-21,6
Коммунальные ТЭЦ и блок -	1,326	4,4	1,546	5,4	0,220	16,6

станции						
Нетрадиционные источники электроэнергии (ВИЭ)	0,259,5	0,9	0,247	0,9	-0,013	-5,0
ВСЕГО	30,041	100,0	28,596	100,0	-1,445	-4,8

Таблица 2

Неравномерность суточных графиков покрытия и диапазон регулирования турбогенераторов в 2014 году

№ п/п	Показатель	ОЭС Украины
1	Максимальная неравномерность графика, МВт	5651
2	Минимальная неравномерность графика, МВт	3478
3	Средняя неравномерность графика, МВт	4676
4	Средний диапазон регулирования на ГЭС и ГАЭС, МВт	2732
5	Средний диапазон регулирования на ТЭЦ, МВт	238
6	Средний необходимый диапазон регулирования на ТЭС, МВт	1706
7	Резерв на возможную разгрузку, МВт	205
8	Резерв на разгрузку (в % от среднего диапазона регулирования на ТЭС)	12
9	Минимально необходимый диапазон регулирования на ТЭС, МВт	1911
10	Максимальный расчетный диапазон регулирования на ТЭС, в % от минимально необходимого диапазона регулирования (п. 9)	200
11	Максимальный расчетный диапазон регулирования на ТЭС, МВт	3822

В некоторых случаях возможны и другие режимы. Так, на энергоблоках Змиевской ТЭС мощностью 200 МВт иногда практикуется работа турбогенераторов (ТГ) в режиме скользящего давления, а на Добротворской ТЭС даже применяется перевод ТГ в режим синхронного компенсатора. Остальные энергоблоки ТЭС Украины маневрируют в рамках заявленного диапазона регулирования, [4].

Рассматривая работу ОЭС Украины с учетом изменения графиков нагрузки (как суточных, так и сезонных) и обеспечения необходимых резервов мощности различными группами турбогенераторов, необходимо учитывать, что каждый тип станции характеризуется своими, свойственными только ей, режимами работы:

1) энергоблоки АЭС Украины могут работать только в базовом режиме генерации и не могут обеспечить мобильный резерв мощности в энергосистеме или обеспечивать регулирование при неплановых режимах работы ОЭС. При этом, если при сбросе нагрузки нет никаких ограничений по скорости, то подъем нагрузки на АЭС должен выполняться очень медленно, ступенчато, с выдержкой по времени на каждой «ступени» для предотвращения повреждения тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ-ов) ядерного топлива. Поэтому число разгрузок блоков АЭС очень ограничено и предназначено для плановых и аварийных сбросов нагрузки или остановов блоков при повреждении оборудования. По информации НАЭК "Энергоатом", допускается от 0 до 4 (максимально 6) режимных разгрузок блоков АЭС в течение года, [4,6];

2) согласно Правилам ОРЭ, именно на ТЭС возлагается значительная часть регулирования суточного графика нагрузок, т.е. ТЭС исполняют роль сектора генерации, определяющего баланс мощности и электроэнергии ОЭС, как при составлении планового

суточного диспетчерского графика нагрузок, так и при фактическом обеспечении устойчивого режима работы сети. Энергоблоки ТЭС не только обеспечивают суточный график потребления, но и являются основным источником резервной мощности, источником балансирования производства и потребления электроэнергии, играют ведущую роль в регулировании суточных и сезонных изменений потребления электроэнергии. Так, например, в 2014 г. нагрузка на блоках ТЭС для покрытия пикового максимума потребления изменялась от 4,40 ГВт (в отдельные дни летнего периода) до 15,50 ГВт (в зимний период). В холодное время года для обеспечения устойчивой работы энергосистемы при внеплановых отключениях блоков, (в т.ч. и блоков АЭС), при ремонтах и авариях в сети, а также при погрешностях прогнозов электропотребления такие изменения были в диапазоне 1,5 – 2,0 ГВт, и обеспечивались только энергоблоками ТЭС, [8,9].

Работа пылеугольных и газо-мазутных блоков ТЭС в переменных режимах приводит к снижению их экономичности, к увеличению удельных затрат топлива на выработку электроэнергии, повышается расход тепла и электроэнергии на собственные нужды блоков. Кроме того, работа блоков в переменных режимах сопровождается интенсивным износом паросилового оборудования, регулирующей аппаратуры, а увеличение количества тепловых циклов ускоряет развитие термической усталости металла узлов и деталей;

3) использовать генераторы других электростанций, как источники маневренных мощностей, не удается. Блоки ТЭЦ, подключенные к сети, всегда работают на полную мощность, т.к. их основная задача – выдача теплоты, а электроэнергия является дополнительным продуктом. Мощностей ГЭС (ГАЭС) не хватает для регулирования, хотя запустить/остановить блоки ГЭС или перевести в режим двигателя блоки ГАЭС наиболее просто и их энергия самая дешевая. Но общая мощность ГЭС в нашей энергосистеме составляет всего 9 %, и это в самом лучшем случае, когда наполненность рек максимальная (весна, лето). Их мощности используются в ОЭС Украины для покрытия максимальных пиковых нагрузок в весенне-летний период.

Т.о., основную часть маневренной нагрузки, (а это от 15 до 20% общего потребления) обеспечивают ТЭС. И они участвуют не только в покрытии маневренных и пиковых нагрузок, но являются и одним из двух главных источников, (как и АЭС), обеспечения базовой нагрузки. На рис. 3 представлен годовой график потребления электроэнергии по продолжительности (в часах).

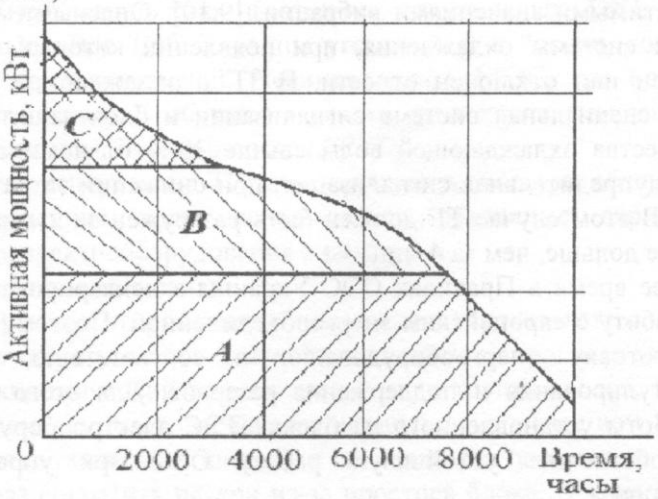

Рис. 3 График годовой электрической нагрузки (продолжительности этапов): *A* – базовая нагрузка; *B* – промежуточная нагрузка; *C* – пиковая нагрузка

Сформировавшаяся структура генерирующих мощностей ОЭС Украины в настоящее время во всех аналитических отчетах определяется, как неблагоприятная по условиям регулирования нагрузок, т.к. не отвечает тем соотношениям базовых и пиковых мощностей, которые необходимы для обеспечения регулирования частоты и графиков внешних

перетоков. Также практически невозможно обеспечивать необходимый диапазон регулирования на существующем оборудовании ТЭС из-за практически полного износа электрооборудования.

Особенностью электроэнергии является то, что она должна полностью потребляться в момент выработки и ее невозможно накопить и запасти. Сбросить излишки выработанной электроэнергии тоже некуда, т.к. энергосистема Украины не синхронизирована с европейской, где есть дефицит энергии. А в российской системе, с которой и сегодня поддерживается синхронизация энергосистемы Украины, наша энергия не нужна – у них достаточно своей, которая, к тому же, дешевле. В результате, чем больше общая мощность энергосистемы (установленных ТГ), тем более остро стоит проблема регулирования электроэнергии в нестационарных режимах и возрастает роль ТЭС, как регулятора баланса внешних перетоков и основного источника резерва. Нестационарные режимы работы ТГ – это режимы, которые связаны со значительными аварийными перегрузками, с полной потерей возбуждения или работой при недовозбуждении, при асинхронном ходе, при отказе системы охлаждения, а также при несинусоидальности и несимметрии напряжения в сети.

Асинхронный режим ТГ появляется при потере возбуждения (обрыв или шунтирование обмотки возбуждения), при выпадении машины из синхронизма из-за колебаний мощности в энергосистеме (КЗ, неполнофазные режимы, резкие сбросы или наброски нагрузки и т.п.). Турбогенераторы имеют относительно "жесткую" асинхронную характеристику со значительным максимальным моментом. Поэтому для них, по условиям нагрева статора, допускается работа в асинхронном режиме, но со сниженной до 50% нагрузкой и не более 30 мин.

Турбогенераторы являются источниками практически симметричного, синусоидального напряжения. Но так как они работают параллельно с сетью, в которую включены разные потребители, возможны несимметричные режимы работы и ухудшение качества напряжения в сети (несимметрия и несинусоидальность). Несинусоидальность могут вызывать мощные выпрямители и преобразовательные установки, электрический транспорт и линии электропередачи постоянного тока. Допустимая несинусоидальность нагрузки и, соответственно, напряжения сети, определяется значениями нагрева обмоток статора и ротора ТГ. При продолжительной работе ТГ значение несимметрии напряжения сети должно быть не более 10 % и лимитируется нагревом элементов ротора токами двойной частоты и допустимыми значениями вибрации, [9,10]. Опасными для ТГ являются любые отказы в работе системы охлаждения, при появлении которых генератор должен быть быстро разгружен или отключен от сети. В ТГ с охлаждением обмотки статора водой устанавливается специальная система сигнализации и блок защиты от повреждения: при снижении количества охлаждающей воды свыше 30 % от номинального расхода должна срабатывать предупредительная сигнализация, при снижении затрат воды более, чем на 50 %, - аварийная. В этом случае ТГ должен быть разгружен за 2 мин. и отключен от сети с гашением поля не дольше, чем за 4 мин.

В настоящее время в Правилах ОЭС Украины задекларирована цель объединения на параллельную работу с европейским энергообъединением. Поэтому уже сейчас необходимо проводить подготовку энергооборудования к соответствию требований UCTE по обеспечению регулирования и поддержания резервов. Для этого необходимо обеспечить возможность работы установленного на блоках ТЭС электрооборудования в маневренных режимах, т.е. обеспечить устойчивую работу ОЭС при управляемом изменении в зависимости от спроса.

Современное политическое состояние Украины оказывает непосредственное влияние на работу энергосистемы. Всего в Украине работает четырнадцать крупных ТЭС. Шесть из этих станций находятся в Донецкой в Луганской областях: Зуевская, Кураховская, Славянская, Старобешевская и Углегорская, Луганская ТЭС. Т.е. шесть станций из четырнадцати, суммарная установленная мощность которых составляет около 15% общей установленной мощности в стране, находятся или в зоне боевых действий, или в

непосредственной близости к ней. В настоящее время одна станция разрушена, одна заминирована, одна не работает с момента аварии еще с 2014 года. Остальные пока работают, но к ним проблематично подвозить топливо: на ТЭС, которые находятся за пределами Донбасса, существует проблема поставок топлива (угля) из-за того, что большинство шахт расположено в зоне боевых действий, часть разрушена, еще часть остановлена по соображениям безопасности. Но даже с тех шахт, которые пока еще работают, не всегда возможно вывезти уголь, т.к. разрушены железнодорожные пути и мосты, вследствие чего без пополнения запасов топлива могут остаться еще три станции, которые расположены в других регионах Украины.

Т.е. сегодня под угрозой остановки находится более 25% генерирующих мощностей (ТГ), что может привести к превышению потребности в активной мощности над вырабатываемой и к аварийной ситуации в системе. При превышении нагрузки над мощностью генерации в системе падает рабочая частота в сети. Затем в узлах нагрузки падает напряжение, затем опять снижается частота, затем - напряжение и т.д. Аварийная ситуация и автоматическое отключение всей системы наступает при снижении частоты ниже 49,2 Гц. Анализ работы энергосистемы показывает, что отклонения от графиков нагрузки даже на 2 - 3% вызывают изменение частоты и запланированных перетоков активной мощности по транзитным линиям электропередач, что необходимо обеспечивать регулированием. Для того чтобы не допускать глобальных аварий, в энергосистемах всех стран практикуют веерные отключения потребителей. Второй вариант – импорт электроэнергии из-за границы. Для Украины - из России, что в настоящее время невозможно.

При выборе любых инженерно-технических решений необходимо учитывать экономические факторы. В частности, эффективность работы ТЭС характеризуется технико-экономическими показателями, которые оценивают совершенство тепловых процессов (КПД, расходы топлива) и условия, в которых работает ТЭС. Нагрузку, при которой агрегат работает с наибольшим КПД, называют экономической нагрузкой и именно это является определяющим фактором очередности использования блоков в энергосистеме. Работу каждого блока контролирует системный оператор и, соответственно, те электростанции, у которой ниже КПД и дороже электроэнергия, работают меньше, больше стоят в резерве. Соответственно, те блоки, у которых электроэнергия дешевле, работаю больше. В частности, на сегодняшний день газовые и газомазутные электростанции, больше стоят в резерве или работают с минимальной мощностью, в отличие от угольных ТЭС, загрузка которых практически максимальна. Все ТЭС Украины угольные, а в России, согласно [11], блоки Шатурской, Смоленской, Конаковской, Невиномысской ГРЭС, где основным топливом является газ (резервным - мазут) работают в десять раз меньше, чем пылеугольные блоки (Рефтинская, Среднеуральская, Гусиноозерская ГРЭС).

На экономичность эксплуатации ТГ также влияют расходы на обслуживание и ремонт оборудования. В последние годы используются различные варианты проведения обслуживания и вывода электрооборудования в ремонт:

1) при работе до его полного отказа;

2) по окончанию регламентированного (паспортного) срока службы;

3) вывод в ремонт по результатам диагностики и данным прогноза состояния.

Определенный экономический эффект дает только третий способ, который позволяет сократить время и объем ремонтов, заранее установить и не менее чем на треть сократить используемое количество запасных частей, в десятки раз уменьшить число внезапных отказов, в несколько раз сократить потери из-за простоев блока. В этом случае необходима полная диагностика турбогенератора, которая позволит своевременно прогнозировать появление дефектов задолго до отказа, продлить ресурс эксплуатации.

Оборудование энергоблоков, предназначенное для продолжительной работы в номинальных режимах, вынуждено работает в режимах с неноминальной нагрузкой, и, как правило, ниже номинальной. Часто генераторы вырабатывают только 50-70% номинальной мощности, а пуски и остановы происходят практически каждую неделю. Для крупных

турбогенераторов ТЭС мощностью 120 - 500 МВт работа в таких режимах крайне нежелательна.

Проводимые исследования в процессе сервисного обслуживания турбогенераторов производства ГПЗ «Электротяжмаш» на блоках ТЭС Украины и России показали, что работа в режимах частых пусков и остановов приводит к преждевременным повреждениям отдельных элементов. Было установлено, что в первую очередь разрушаются сердечники статоров и система крепления «сердечник-корпус» ТГ. Исследования показали повышенные значения вибрации статоров и корпусов, причиной появления которых можно считать установленную при осмотрах потерю монолитности сердечника и нарушение жесткой связи «активная сталь - рама». Интересным является факт, что максимальная амплитуда вибрации была отмечена в режимах, близких к режиму холостого хода. А при приближении работы турбогенератора к номинальному режиму значение вибрации снижалось. Так вибро-обследование турбогенератора ТГВ - 200 - 2 на Гомельской ТЭЦ-2 показали, что:

– в режимах нагрузки максимальная вибрация активной стали с двойной оборотной частотой достигала 33,4 мкм при нагрузке 49,6 МВт (24,8 % от P_N). С увеличением нагрузки уровень вибрации снижается и при P = 180 МВт (90 % от P_N) составлял 22,5 мкм, а при выходе на номинальную мощность значение вибрации снизилось до 19,8 мкм;

–показатели вибрации рамы аналогичны значениям вибрации активной стали сердечника: с увеличением нагрузки вибрация в центре рамы снижается от 30,0 мкм при P=49,6 МВт до 21,6 мкм при P = 180 МВт. При выходе на номинальную мощность значение вибрации составляет 17,1 мкм;

– со стороны турбины и стороны контактных колец (КК) вибрация рамы при изменении мощности от 50 % до 70 % изменялась: со стороны КК - от 22,9 мкм до 15,8 мкм, со стороны турбины - от 16,2 мкм до 9,9 мкм.

При визуальном обследовании было обнаружено наличие отложений красно-коричневого цвета на спинке сердечника, как со стороны турбины, так и со стороны КК. Также были найдены неплотности между 3 и 4 клееными пакетами со стороны турбины, а подтяжку гаек нажимных фланцев сердечника статора пришлось выполнить, как со стороны КК, так и со стороны турбины.

Эти факты позволяют утверждать, что причиной потери монолитности сердечника и нарушения жесткой связи в узле «активная сталь-рама» может быть высокий уровень вибрации при неноминальных значениях мощности, имеющих определенный спектр частот, близких к резонансным значениям собственной двойной частоты турбогенераторов (100 Гц). Фактором, усиливающим влияние вибрации на состояние турбогенератора, следует считать его тепловое состояние, [5,10]. Для контроля и оценки состояния отдельных элементов ТГ необходимо устанавливать специальную контрольно-измерительную аппаратуру, которая позволит измерять вибрацию и сопутствующие параметры. В комплект измерительной аппаратуры должны быть включены датчики вибрации, анализаторы спектра, преобразователи линейной виброскорости и преобразователи линейных перемещений.

Выводы

1) В современной энергосистеме Украины существует проблема поддержаниям нормативных значений напряжения и частоты из-за снижения загруженности и изменения типа энергоприемников, что определило необходимость пересмотра требований к эксплуатационным характеристикам ТГ на блоках электростанций, особенно при их работе в неноминальных режимах.

2) Современные ТГ работают в энергосистемах при изменяющихся значениях частоты и напряжения, при систематических пусках и остановах, при изменяющихся динамических воздействиях на элементы конструкции, что вызывает ускоренный износ и приводит к аварийным отключениям из-за разрушения отдельных элементов, т.к. серийные ТГ не рассчитаны на эти режимы.

3) Регулирование параметров энергосистемы возможно и целесообразно только за счет регулирования эксплуатационных параметров турбогенераторов ТЭС, которые должны

обеспечивать не только базовую, но и необходимую маневренную мощность в системе с учетом изменения графиков нагрузки.

4) При выборе инженерно-технических решений необходимо учитывать экономические факторы, что является определяющим фактором выбора очередности включения и загруженности использования турбогенераторов в энергосистеме. В первую очередь, полную нагрузку должны нести блоки ТЭС, у которых определен наибольший КПД и, соответственно, дешевле электроэнергия. При оценке экономичности эксплуатации блоков необходимо учитывать расходы на обслуживание и ремонт.

Список использованной литературы:

1. Шевченко, В.В. (2007), «*Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине*». Енергетика та електрифікація. - № 7(287). - С. 11-16.

2. Шевченко, В. В. (2014), «*Модернизация конструкций отечественных турбогенераторов с учетом требований поддержания их конкурентоспособности*». Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. – Х.: НТУ «ХПІ». – № 38(1081). - С.146-155.

3. Закон Украины(2013), «*О внесении изменений в Закон Украины «Об электроэнергетике» относительно стимулирования производства электроэнергии за счет альтернативных источников энергии*» № 5485-VI. – 01.04.2013 г.

4. *Gateway to Ukraine*. Аналитический портал на базе украинской и мировой экономической статистики. Информационно-аналитическое агентство «Статинформконсалтинг». Статистика Украины и мира. Информационно-аналитические решения для энергетической отрасли. – 2015. Адрес доступа: http://gateway-ukraine.com/Demo/

5. Шевченко, В.В. (2013), «*Системный подход к вопросам оценки технического состояния электрооборудования энергосистем Украины*». Электрика (Россия). – № 1. – С. 6 – 11.

6. Maljkovic, Z. (2006), *Limits of turbine generator's underexcited operation.* XVII International Conference on Electrical Machines ICEM-2006. – Chania–Greece. – P.p. 69-33.

7. Klempner, Geoff (2005), «*Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators*». IEEE power & energy magazine. - July/august 2005. - P.p. 60-62.

8. Горелин, А. Х., Дуэль, М. А (2008), «*Состояние и развитие диагностического обеспечения энергоблоков ТЭС Украины*». Енергетика та електрифікація. – № 12. – С. 6 – 12.

9. Шевченко, В. В. (2012), «Перспективная оценка совершенствования энергетической системы Украины. Электрика, (Россия, Москва) - № 9 - С. 10 – 15.

10. Шумилов, Ю. А., Демидюк, Б. М., Штогрин, А. В. (2008), «*Вибродиагностика как составляющая мониторинга технического состояния силовых агрегатов*». Праці Інституту електродинаміки НАН України. –. – Вип. 19. – С.76 – 80.

11. Мастепанов, А.М. (2009). *Топливно-энергетический комплекс России на рубеже веков: состояние, проблемы и перспективы развития. Справочно-аналитический сборник в 2-х томах.*– М.: Издательство ИАЦ «Энергия». - Том 1. – 530 с.

References:

1. Shevchenko, V.V. (2007), «*Problems and main directions of development of electric power in Ukraine*». [Problemy i osnovnye napravleniya razvitiya elektroenergetiki v Ukraine. Energetika i elektrifikaciya]. - Energy and Electrification. № 7(287). – P.p. 11-16.

2. Shevchenko, V.V. (2014), «*The modernization of structures of domestic turbogenerators based on maintaining their competitiveness requirements*». *Bulletin "KPI" National Technical University. Collection of scientific works*. [Modernizaciya konstrukcij otechestvennyh turbogeneratorov s uchetom trebovanij podderzhaniya ih konkurentosposobnosti. Vestnik Nacionalnogo tehnicheskogo universiteta «HPI». Sbornik nauchnyh rabot]. Kharkov: NYU «KPI». – № 38(1081). - P.p.146-155.

3. The Law of Ukraine (2013), «*On modification in the Law Ukraine» On Electric Power Industry «On the promotion of electricity production from alternative energy sources*». [Zakon Ukrainy(2013) «O vnesenii izmenenij v Zakon Ukrainy «Ob elektroenergetike» otnositelno stimulirovaniya proizvodstva elektroenergii za schet alternativnyh istochnikov energii»]. № 5485-VI. – 01.04.2013.

4. *Gateway to Ukraine*. (2015). *Analytical portal on the basis of Ukrainian and world economic statistics. "Statinformconsulting" information-analytical agency. Statistics of Ukraine and the world. Information-analytical solutions for the energy industry*. [Analiticheskij portal na baze ukrainskoj i mirovoj ekonomicheskoj statistiki. Informacionno-analiticheskoe agentstvo «Statinformkonsalting». Statistika Ukrainy i mira. Informacionno-analiticheskie resheniya dlya energeticheskoj otrasli]. Access address: http://gateway-ukraine.com/Demo/

5. Shevchenko, V.V. (2013). *System approach to evaluate the technical condition of electrical power systems of Ukraine.* [Sistemnyj podhod k voprosam ocenki tehnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya energosistem Ukrainy]. Electrics (Russia).– № 1. – P.p. 6 – 11.

6. Maljkovic, Z. (2006). *Limits of turbine generator's underexcited operation.* XVII International Conference on Electrical Machines ICEM-2006. Chania–Greece. – P.p. 69-33.

7. Klempner, Geoff (2005). *Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators.* IEEE power & energy magazine. - July/august 2005. - P.p. 60-62.

8. Gorelik, A. H., Duel, M. A., (2008), «*Status and development of diagnostic maintenance units CHP Ukraine*». [Sostoyanie i razvitie diagnosticheskogo obespecheniya energoblokov TES Ukrainy.]. – Energy and Electrification. № 12. – P.p. 6 – 12.

9. Shevchenko, V.V. (2012). «*Prospective evaluation of improving the energy system of Ukraine*». [Perspektivnaya ocenka sovershenstvovaniya energeticheskoj sistemy Ukrainy]. Electrical, (Moscow, Russia)- № 9 - P.p. 10 – 15.

10. Shumilov, A.U., Demidyuk, B.M., Shtogrin, A.V. (2008), «*Vibro-diagnostics as part of monitoring the technical condition of the power units*». *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine.* [Vibrodiagnostika kak sostavlyayuschaya monitoringa tehnicheskogo sostoyaniya silovyh agregatov].- Issue 19. P.p. 76 – 80.

11. Mastepanov, A.M. (2009), «*Fuel and energy complex of Russia at the turn of the century: state, problems and prospects of development*». *Reference and analytical collection in 2 volumes.* [Toplivno-energeticheskij kompleks Rossii na rubezhe vekov: sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya. Spravochno-analiticheskij sbornik v 2-h tomah]. Moscow: Publishing IAC "Energy". Volume 1. 530 p.

Поступила в редакцию 05.02 2016 г.

Украине необходимо разработать стратегию замены мощностей ТЭС объектами возобновляемой энергетики – это снизит негативное влияние на экологию и здоровье людей

Такое мнение во время круглого стола, организованного международным фондом "Сокращение рисков", высказала группа экспертов, приводя в пример Трипольскую ТЭС, которая расположена в Киевской области.

По словам директора Института зеленой экономики, доктора экономических наук Вячеслава Потапенко, значительное количество выбросов на отечественных ТЭС возникает из-за устаревшего оборудования, которое не способно улавливать вредные вещества из источников их возникновения.

Эксперт отметил, что выбросы оседают в радиусе 30 км от места расположе-ния объекта и негативно сказываются на здоровье населения. «Тепловые электрос-танции на сегодняшний день работают формально по нормам. То есть каждое юридическое лицо имеет справки, что у них «все хорошо», - подчеркнул Потапенко.

В свою очередь, директор юридической компании «Императив плюс» Александр Лупейко рассказал, что Трипольская ТЭС является основным источником вредных выбросов в атмосферу в Киевской области, где ее доля составляет порядка 82% от всех предприятий области.

Координатор проектов по энергоэффективности Национального экологическо-го центра Украины Анна Шумейко также согласилась с мнением об экологическом вреде от работы ТЭС. «Украина должна строить свою новую энергетическую стратегию с видением полного отказа от ископаемого топлива и перехода до полностью возобновляемых источников энергии», - подчеркнула Шумейко.

В то же время глава правления Биоэнергетической ассоциации Георгий Гелетуха сообщил, что климатическое соглашение ускорит замену мощностей ТЭС объектами возобновляемой энергетики. Он подчеркнул, что одним из вариантов отказа от ископаемого топлива является развитие биоэнергетики, которая уже сейчас в Украине показывает высокую динамику роста.

Информация на эту тему – «ДЕНЬ», 15-16.01.2016 «Екологію відклали до «кращих часів»?», Оксана Миколюк. Громадськість провела моніторинг державної політики у сфері охорони довкілля. Висновок – невтішний!

УНІАН,12.01.2016 р.