

УДК 621.315.2

**В. Ю. Розов** , член-кор. НАН Украины  
**В. С. Гринченко**, канд. техн. наук  
**А. О. Ткаченко**

*Государственное учреждение «Институт технических проблем магнетизма НАН Украины» (г. Харьков, Украина, e-mail: vsgrinchenko@gmail.com)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ЗАЗЕМЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ**

Основным условием экологической безопасности современных высоковольтных подземных кабельных линий электропередачи из одножильных кабелей (КЛ) является ограничение до безопасного уровня создаваемого ними магнитного поля (МП) в жилых помещениях и на территории жилой застройки. Поэтому при проектировании КЛ выполняется расчет их МП и по его результатам принимаются меры по снижению МП в случае превышения санитарных норм.

Необходимым условием надежной эксплуатации КЛ является заземление электропроводящих экранов их кабелей. Однако использование наиболее простого двустороннего заземления оказывает существенное влияние на МП КЛ, которое не учитывается существующими методиками расчета. В связи с этим возникает задача моделирования МП КЛ для случая двухстороннего заземления собственных экранов кабелей, при котором экраны образуют замкнутые контуры протекания индуцированных продольных токов. Эта задача впервые решена авторами.

В работе представлены разработанная аналитическая модель МП трехфазной КЛ с двухсторонне замкнутыми экранами при их произвольном расположении в пространстве, а также численная модель МП трехфазной КЛ с двухсторонне замкнутыми экранами, разработанная в программном пакете COMSOL Multiphysics.

Результаты математического моделирования экспериментально обоснованы на физической модели КЛ выполненной из кабелей типа АПвЭгаПу-110 1□240/70 и созданной на магнитодинамическом комплексе ГУ ИТПМ НАН Украины. Разброс результатов моделирования и эксперимента не превысил 5 %.

Результаты работы приняты за основу при разработке методики расчета МП КЛ, а также руководства по проектированию экологически безопасных высоковольтных КЛ, которые выполнены в рамках хоздоговоров по заказу «Міненерговугілля» и в настоящее время внедрены в следующие нормативные документы энергетической отрасли Украины:

1. «Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання . Методика. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008, нова редакція», 2016 р., (Наказ Міненерговугілля від 01.07.16 № 423);

2. «Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова, СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011, нова редакція, 2017 р., (Наказ Міненерговугілля від 26.01.17 № 82).

По результатам работы опубликовано 3 статьи, в том числе одна – в наукометрической базе Scopus.

УДК

**К. А. Кобзарь**

**П. Г. Гакал\***, д-р техн. наук

**Е. А. Овсянникова**

*ГП «Завод «Электротяжмаш»*

*(г. Харьков, Украина, olena.ovsyannikova@gmail.com)*

*\*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт» (г. Харьков, Украина)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РОТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА МОЩНОСТЬЮ 550 МВт, ОХЛАЖДАЕМОГО ВОДОРОДОМ**

**Цель работы** состоит в повышении эффективности турбогенераторов путем формирования уточненной расчетной базы, использующейся при определении теплового состояния ротора. Расчетная база в дальнейшем будет использоваться для анализа теплового состояния турбогенераторов мощностью 200-500 МВт.

**Задачами исследования** являются:

- разработка математических моделей теплового состояния элементов ротора турбогенератора в трехмерной стационарной постановке;
- выбор корреляций для определения коэффициентов теплопередачи для водорода на базе экспериментальных данных, применение выбранных корреляций для формирования граничных условий на различных участках ротора;
- численное исследование теплового состояния элементов ротора с использованием предложенных моделей, граничных условий на различных режимах работы;
- разработка способов повышения эффективности системы охлаждения, пути оптимизации конструкции ротора на основе анализа теплового состояния;
- определение запасов мощности по нагревам, за счет которых возможно расширение диапазона режимов работы, повышение маневренности турбогенератора.

*Объект исследования* – процессы теплопередачи в роторе турбогенератора с непосредственным охлаждением обмотки водородом.

*Предмет исследования* – модели теплового состояния ротора турбогенератора, граничные условия.

### **Метод исследования**

Для решения поставленных задач использовались следующие методы: теплопередача теплопроводностью в сложных объектах, метод конечных элементов, физический эксперимент.

Определение температурного поля ротора базируется на решении стационарной задачи теплопроводности в твердом теле с учетом конвективного отвода тепла на границах тела. Интенсивность конвективного переноса тепла характеризуется коэффициентом теплоотдачи и представляет собой граничные условия III рода. Методика предполагает решение поставленной задачи при помощи метода конечных элементов в трехмерной постановке в декартовой системе координат. Адекватность моделирования проверяется путем сравнения экспериментального и расчетного распределения температур в роторе.

Для расчета коэффициентов теплоотдачи водорода использовались экспериментальные корреляции, полученные разными авторами в 1959-1970 г.г. Экспериментальная установка в серии опытов представляла собой прямую круглую стальную трубу, равномерно нагреваемую электрическим током. При проведении экспериментов авторами варьировались различные параметры: внутренний диаметр трубы ( $D$ ), отношение длины трубы к внутреннему диаметру трубы в исследуемом сечении ( $x/D$ ), давление водорода ( $p$ ) и температуры: водорода по объему ( $T_b$ ), стенки трубы ( $T_s$ ). Так *Taylor* в 1965 г. получил критериальное уравнение, позволяющее описать теплопередачу газообразного водорода (и гелия) для  $x/D = 11,6 - 77$ ; в диапазоне давлений  $0,255 - 0,469$  МПа; в области температур  $39 - 462$  °С; при перепаде температуры между стенкой охлаждающего канала и потоком водорода по объему  $T_s/T_b = 1,4 - 8$ ; числах  $Re$   $5700 \square 48400$ . Выбор этого уравнения для описания конвективного отвода тепла от стенок охлаждающих каналов обмотки ротора в качестве возможного обоснован тем, что параметры водорода в системе охлаждения проектируемого турбогенератора ( $p = 0,5$  МПа;  $T_b = 45$  °С) входят в указанные диапазоны экспериментальных давлений и температур.

Уравнение представлено в виде безразмерного коэффициента теплоотдачи – критерия  $Nu$ :

$$Nu_b = 0.021 \cdot Re_b^{0.8} \cdot Pr_b^{0.4} \cdot (T_s / T_b)^{-(0.29 + 0.0019 \cdot x / D)}$$

Для получения экспериментального распределения температур в роторе были проведены испытания турбогенератора мощностью 550 МВт на стенде завода ГП «Завод «Электротяжмаш». По результатам испытаний построена зависимость температуры обмотки от тепловыделений вследствие прохождения по ней постоянного тока на различных режимах работы. В результате сравнения расчетных и экспериментальных распределений температур в роторе была выбрана корреляция для коэффициента теплоотдачи, подтверждена адекватность моделирования теплового состояния ротора и достоверность расчетных результатов.

### **Анализ результатов расчета**

Наибольшую температуру имеет обмотка ротора в месте выхода охлаждающей среды. Максимальная температура обмотки ротора по результатам расчета методом конечных элементов в номинальном режиме работы составила 79 °С. Максимальная температура обмотки ротора по результатам испытаний в номинальном режиме 74,7 °С. Тепловое состояние ротора не накладывает ограничений на величину номинальной мощности генератора. Анализ теплового состояния ротора на различных режимах работы свидетельствует о наличии запасов по нагреву, что дает возможность повысить мощность генератора при сохранении температуры и давления охлаждающей среды.

УЕМФМ-2017

**В. А. Крамарський**, канд. техн. наук

**К. А. Кучинський**, д-р техн. наук

*Інститут електродинаміки НАН України*

*(м. Київ, Україна, e-mail: e-mail: ied1@ied.org.ua)*

## **РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ДЕЯКИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБМОТКИ НА ТОРЦІ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА**

**С. М. Герцик**

**Ю. І. Гижко**, канд. техн. наук

**М. В. Мислович**, д-р техн. наук

**Р. М. Сисак**, канд. техн. наук

*Інститут електродинаміки НАН України  
(м. Київ, Україна, e-mail: mysl@ied.org.ua )*

## **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ**

Останнім часом успішно розвивається новий напрямок досліджень: розробка багаторівневих систем діагностування, контролю і моніторингу стану обладнання об'єктів електроенергетики на базі концепції Smart Grid [2, 4]. Для забезпечення ефективного використання таких систем в разі реалізації в них методів еталонної функціональної діагностики користувачеві необхідно мати набір еталонів, які попередньо було сформовано за певними діагностичними ознаками та з урахуванням режимів роботи і для певного технічного стану досліджуваних вузлів електричних машин (ЕМ) [1]. У цьому випадку відпадає необхідність примусово переводити досліджуваний вузол у режим, для якого попередньо була сформована навчаюча сукупність і, таким чином, ефективність використання такої системи діагностування значно підвищується.

Сучасні інформаційні технології надають можливість розширити спектр застосування систем моніторингу і діагностики ЕМ. Наприклад, сучасні програмно-технічні засоби дозволяють проводити дистанційну діагностику рухомих частин ЕМ [1–4], базуючись на загальновідомих протоколах (Wi-Fi, Bluetooth, Zig-Bee та ін.) бездротової передачі даних.

Одним з основних моментів при побудові систем технічного діагностування (СТД) є обґрунтування можливих діагностичних ознак. Аргументовано вибрати і обґрунтувати їх дозволяє побудова і подальший аналіз математичних моделей об'єктів діагностування або фізичних процесів, що супроводжують роботу цих об'єктів. У цьому випадку модель об'єкта, що діагностується, є визначальною. Залежно від того, яка модель обрана – детермінована або статистична – відповідно проводиться побудова детермінованої або статистичної СТД. При цьому суттєвим моментом є саме об'єкт (рухомий вузол або нерухомий), для якого створюється математична модель, а також вид фізичного процесу, що використовується у вигляді діагностичного сигналу.

Врахування перелічених особливостей набуває суттєвого значення при побудові багаторівневих систем діагностування електроенергетичного обладнання (ЕО). Як відомо, у рамках концепції Smart Grid передбачається активна взаємодія та реалізація інформаційного обміну даними між різними рівнями функціонування сучасної енергосистеми (ЕС). Умовний розподіл обладнання ЕС за рівнями наведено, наприклад, у роботі [4]. Як відомо [2, 4], саме використання таких багаторівневих діагностичних систем дає можливість підвищити надійність та ефективність експлуатації ЕО завдяки відмові від системи планово-попереджувальних ремонтів та переходу до обслуговування та ремонту ЕО за фактичним станом. У цьому випадку якомога більша частина ЕО має бути охоплена системами для здійснення постійного або періодичного моніторингу технічного стану досліджуваного ЕО. Крім того, такі системи повинні мати більше можливостей, а саме забезпечувати двосторонній обмін

інформацією на всіх рівнях, віддалений моніторинг стану, прогнозування відмов, планування необхідності у запасних частинах, оцінку залишкового ресурсу тощо.

**Основною метою даної роботи** є розробка математичних моделей вібродіагностичних сигналів та побудова на їх основі алгоритмів формування навчаючих сукупностей, що враховують режими роботи ЕМ (кутова швидкість обертання ротора, температура досліджуваних вузлів, характер навантаження тощо). В роботі також запропоновано структуру дистанційної діагностичної системи, яка використовує бездротовий канал передачі діагностичних вібраційних сигналів, що вимірюються акселерометрами, розміщеними безпосередньо на роторі (якорі) ЕМ.

Для забезпечення функціонування автономних електронних блоків, розташованих на рухомих частинах ЕМ, використана технологія Energy Harvesting [5], яка надає можливість забезпечити електроживлення електронних схем в автономних пристроях вимірювання вібрацій за рахунок перетворення в електричний струм механічної енергії вібрацій ротора ЕМ. Розроблено методи формування навчаючих сукупностей (еталонів) за певними діагностичними ознаками, що враховують режим роботи ЕМ (кутова швидкість обертання ротора, температура вузлів ЕМ, характер навантаження тощо).

### **Література**

1. *Бабак С.В., Мыслович М.В., Сысак Р.М.* Статистическая диагностика электро-технического оборудования. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
2. *Герцик С.М., Гижко Ю.І., Мислович М.В., Остапчук Л.Б., Сисак Р.М.* Алгоритми функціонування та програмне забезпечення багаторівневої системи моніторингу стану та технічного діагностування обладнання об'єктів електроенергетики // Техн. електродинаміка. – 2016. – №4. – С. 86–88.
3. *Гижко Ю.І., Мислович М.В.* Елементи теорії та питання практичного застосування систем вібродіагностування рухомих вузлів електричних машин // Техн. електродинаміка. – 2015. – №2. – С. 45–56.
4. *Мислович М.В., Сисак Р.М.* Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів // Техн. електродинаміка. – 2015. – №1. – С. 78–85.
5. *Уитакер М., Бочарников И.* Energy Harvesting. Новый этап в развитии автономных устройств // Компоненты и технологии. – 2010. – №8. – С.146–149.

УДК 621.311.1

**А. М Чернюк**, канд. техн. наук

*Украинская инженерно-педагогическая академия  
(г. Харьков, Украина)*

## **АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТОПОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

### **Введение**

Разветвлённые электрические сети имеют свою характерную топологию. Топология электрических сетей зависит от месторасположения потребителей и источников питания, категоричности потребителей, значений передаваемой мощности, особенностей рельефа местности и прочих факторов разного рода. Свойства топологии электрических сетей с одной стороны определяются этими факторами, а с другой – позволяют судить о свойствах самой сети. Исследование свойств топологии электрических сетей позволит оценить степень энерговооружённости рассматриваемого региона, количественные и качественные параметры оперативной гибкости соответствующей электрической сети, произвести сравнительную оценку полученных параметров и сформулировать практические рекомендации к их улучшению. Поэтому исследование свойств топологии электрических сетей является актуальной научно-технической задачей.

### **Основной материал исследования**

Разветвлённые электрические распределительные сети имеют настолько сложноописываемую конфигурацию своей многоуровневой системы, что практически приближаются по своей природе к стохастическим природным системам, характерным для растительного мира или биологических организмов (конфигурация деревьев, кровеносной системы, разряда электричества в псевдогомогенной среде и т.д.). Это не удивительно, если принять во внимание тот факт, что системы электроснабжения являются обеспечивающими системами жизнедеятельности человека, который сам является частью экосистемы и его жизнь и поведение определяется преимущественно естественными законами природы.

Описание таких систем, носящих как регулярный так вероятностный характер одновременно, требует построения соответствующих физических моделей и применения определённого математического аппарата, которые бы учитывали обе составляющие (регулярную и случайную).

В последнее время для описания стохастических систем с успехом используется теория фрактальной геометрии и кластерный анализ, на основании которых вероятностные процессы и объекты, полученные в результате них, могут быть описаны при помощи дробной размерности, отражающей степень заполнения геометрического, информационного, временного и пр. пространства (площади, объёма), носящего признаки самоподобия, не пропадающего при изменении масштаба рассмотрения процесса или объекта. Данную величину принято называть фрактальной размерностью

и определять как  $d_f = \frac{\ln N}{\ln n}$ , где  $N$  - число элементов, подобных кластеру, имеющих в  $n$  раз меньший пространственный масштаб – при условии, что из них можно

составить первоначальный кластер. При этом под кластерами понимают единичные базовые элементы, совокупность которых составляет самоподобный элемент большего пространственного масштаба, что позволяет на различных масштабах рассмотрения процесса или объекта сохранять характер его формирования.

Феномен фрактальной размерности состоит в том, что данный показатель в отличие от других коэффициентов (коэффициент заполнения, коэффициент пористости и т.д.) определяет некоторую «сложность пространства» и отражает не только количественные соотношения и степень заполнения пространства, но и его характер.

Учитывая то, что не смотря на уровень номинального напряжения распределяемая электрическая мощность практически не изменяется, то степень заполнения установленной мощностью питающих подстанций площади электрифицируемого района будет оставаться неизменной не зависимо от пространственного масштаба рассмотрения (уровня номинального напряжения), что характерно для фрактальных структур, сохраняющих свойства самоподобия. Однако суммарная длина распределительных сетей  $\Sigma l$ , км несомненно будет увеличиваться пропорционально дроблению подстанций и увеличению числа узлов нагрузки потребителей.

Общей закономерностью построения многоуровневых электрических распределительных сетей, представляющих разветвлённые структуры, является то, что, с уменьшением уровня напряжения происходит уменьшение длины и пропускной способности линий электропередач при одновременном увеличении их числа и числа питающих подстанций. Пропускная способность линий электропередач определяет массовую плотность ветвей данной структуры.

## **Выводы**

1. Топология электрических сетей имеет стохастический характер построения, обусловленный рядом факторов регулярного и случайного характера, в результате чего она обладает фрактальными свойствами самоподобия, что обусловлено применением типовых схемных решений при создании рассматриваемых сетей.

2. Фрактальные свойства разветвлённых электрических сетей проявляются при изменении масштаба рассмотрения процесса распределения энергии и построения распределительных электрических сетей, при этом масштабным делением может служить шкала номинальных напряжений.

3. Моделирование многоуровневой системы распределительных электрических сетей и определение их обобщённых показателей возможно с применением фрактально-кластерного анализа.



УДК 621.327

**О. Ю. Єгорова**, канд. техн. наук

*Українська інженерно-педагогічна академія  
(м. Харків, Україна)*

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ**

### **Вступ**

Починаючи з 50-х років, електрифікація сільського господарства України здійснювалася високими темпами. Розвиток державних енергосистем і приєднання до них сільських електричних мереж дозволили охопити централізованим електропостачанням близько 99 % господарств і завершити важливий етап електрифікації - забезпечення електроенергією споживачів у сільській місцевості. Метою роботи є критичний огляд практики електропостачання сільгоспспоживачів у сучасних умовах, виявлення реального взаємозв'язку між надійністю електропостачання і якістю електроенергії. Формулювання методології комплексного забезпечення надійності і якості електропостачання в розподільних мережах. Електроенергетика є одним з найважливіших факторів підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Сучасна електрифікація цієї галузі підвищує електроозброєність праці, змінює структуру основних виробничих фондів, поглиблює спеціалізацію виробництва, знижує витрати ручної праці, змінює його зміст, і є, в остаточному підсумку, не тільки виробничим, але соціальним фактором.

### **Основна частина**

До початку 2000 р. приблизно 30 % повітряних ліній електропередач (630 тис. км) і трансформаторних підстанцій (140 тис. шт.), які забезпечували електропостачання 153000 сільських населених пунктів, підприємств агропромислового комплексу й об'єктів соціальної сфери, а також промислових підприємств, малих міст і селищ міського типу, розташованих на сільській території, відробили нормативний строк. до 2010 року ця величина склала 40 %. Щорічно частка ушкоджень трансформаторів напругою 6...10/0,4 кВ становить ~ 2,5 % (1300 штук), а трансформаторів напругою 35...110 кВ ~ 1,2 % від числа встановлених.

Ріст виробничого енергетичного потенціалу села й електроємності сільськогосподарської продукції збільшує залежність обсягів виробництва продукції від кількості споживаної електроенергії й від якості електропостачання. Електропостачання практично всіх сільських споживачів у цей час здійснюється централізовано від енергосистем. Сільські мережі володіють рядом особливостей, що відрізняють їх від міських мереж. Велика кількість віддалених один від одного споживачів порівняно малої потужності й радіальна побудова мереж створюють труднощі в забезпеченні надійності електропостачання. Частіше, ніж у міських мережах, застосовуються лінії виконані проводами малих перетинів і трансформатори малої потужності, що викликає підвищену втрату потужності й падіння напруги в мережах. Значна частка загальних витрат припадає на розподільні мережі середньої й низької напруги.

На початкових етапах електрифікації збиток від перерв в електропостачанні був незначним, тому що електрифікувалися лише окремі технологічні процеси. При перервах в електропостачанні завжди можна було замінити роботу електроустановок ручною працею. У міру розвитку комплексної механізації й автоматизації виросла продуктивність праці й істотно скоротилася чисельність обслуговуючого персоналу.

Найменш надійними елементами сільських електричних мереж є повітряні лінії електропередачі; на їхню частку доводиться більшість всіх порушень у мережах.

Частіше інших зустрічаються такі причини відключень, як ушкодження проводів й пробій кабелю (від 22 до 40% у різні роки при середньорічному значенні 32 %); вони ж викликають і найбільшу тривалість перерв, відповідно 28...36 % і 33 %. В 12...28% випадків відзначалася несправність у споживачів, в 16...27 % випадків - пробій ізоляторів і в 6...12 % - ушкодження опори лінії електропередач.

Показники надійності електропостачання істотно залежать від рівня експлуатації мереж і від конфігурації мережі самого споживача, ступеня надійності її елементів. Вибір тієї або іншої схеми електропостачання залежить від конструктивного виконання ліній і підстанцій, довжини ліній і переданої по них потужності навантаження, характеру споживачів, які живляться від мережі, і вимог, пропонованих ними відносно надійності електропостачання. Питання підвищення надійності електропостачання можуть бути вирішені лише при наявності достовірної інформації про причини й тривалість перерв. Аналіз причин пошкоджуваності і їхніх структур необхідний для оптимізації схеми електропостачання за умовою надійності, організації ремонтної служби й визначення розмірів страхового фонду.

Витрата електроенергії в мережах зростає при несиметричному навантаженні. Несиметрія навантаження може викликати збільшення витрати електроенергії в сільських мережах в 1,5 рази в порівнянні із симетричним навантаженням. Зниження несиметрії струмів дозволить зменшити витрату електроенергії в лініях 0,38 кВ і на споживчих підстанціях.

Незважаючи на зростання тарифів на електроенергію більшістю господарств не розробляються заходи щодо електросбереження й потрібні рішучі кроки як енергопостачальних організацій, так і споживачів по раціональній і ощадливій витраті електроенергії при передачі й розподілі її по сільських мережах.

## **Висновки**

Проаналізувавши всю сукупність мір, що рекомендують, наявні фінансові можливості мережевої компанії й доступних засобів підвищення надійності і якості електропостачання, пропонується як першочергові міри запропонувати підтримуючі заходи.

1. Оснащення мереж 10 кВ устаткуванням нового покоління, запобіжниками-роз'єднувачами вихлопного типу ПРВТ-10, які призначені для захисту силових трансформаторів і розподільних мереж від коротких замикань і перевантажень, а також відключення-вмикання електричного ланцюга з відключеним навантаженням за допомогою оперативної штанги.

2. Установку на лініях електропередачі розподільної мережі пристроїв поздовжньої компенсації (УПК) з метою підвищення пропускну здатності ЛЕП, зниження втрат потужності й напруги.

3. Широке застосування при профілактичних оглядах і технічному обслуговуванні тепловизионного контролю елементів ЛЕП і устаткування підстанцій.

УДК 621.327

**О. Ю. Єгорова**, канд. техн. наук  
**П. А. Панасюк**

*Українська інженерно-педагогічна академія  
(м. Харків, Україна)*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

### **Вступ**

Питання економного використання всіх видів енергії, в тому числі електричної, і підвищення економічності роботи електроустановок є важливою державною проблемою.

Електроенергія, як особливий вид продукції, має певні характеристики, що дозволяють судити про її придатності в різних виробничих процесах. Сукупність таких характеристик, при яких приймачі електроенергії здатні виконувати закладені в них функції, об'єднані під загальним поняттям якості електроенергії.

### **Основна частина**

В останні роки підвищенню якості електроенергії приділяють велику увагу тому, що якість електроенергії може істотно впливати на витрату електроенергії, надійність систем електропостачання, технологічний процес виробництва.

Прагнення підвищити продуктивність праці на сучасних промислових підприємствах, а також інтенсифікація та ускладнення технологічних процесів зумовили те, що все більшу частку в загальному обсязі сумарних навантажень займають різкозмінні і нелінійні навантаження з підвищеним споживанням реактивної потужності. Це, перш за все вентильні перетворювачі, що знайшли широке застосування на заводах чорної і кольорової металургії і підприємствах хімічної промисловості, а також потужні дугові печі, зварювальні установки.

Раціональна (оптимальна) компенсація реактивної потужності в промислових електричних мережах включає в себе широкий комплекс питань, спрямованих на підвищення економічності роботи електроустановок, поліпшення якості споживаної електроенергії і включають в себе методи вибору і розрахунку компенсуючих пристроїв, виходячи з умов виконання завдань енергосистеми; питання місця установки компенсуючих пристроїв і їх найвигіднішого розміщення, раціональної та безпечної експлуатації та захисту; ключові питання автоматичного регулювання реактивної потужності в промислових електричних мережах, а також створення цілеспрямованого наукового підходу до розробки і вирішення з мінімумом похибки адекватної математичної моделі задачі раціональної компенсації реактивної потужності.

Економне використання електроенергії набуває все більшого значення, що необхідно враховувати при проектуванні і експлуатації промислових мереж високої та низької напруги. Аналіз споживання електричної енергії промисловими підприємствами показує, що основними напрямками скорочення втрат електроенергії в мережах є компенсація реактивної потужності з одночасним поліпшенням якості споживаної електричної енергії безпосередньо в мережах промислових підприємств, збільшення завантаження трансформаторів з метою досягнення максимальної ефективності їх використання, наближення трансформаторів до приймачів електроенергії (глибокі вводи), скорочення ступенів трансформації і вимкнення додаткового реакторного обладнання, скорочення втрат безпосередньо

в трансформаторах, впровадження більш економічного силового електрообладнання та джерел світла, оптимізація режимів роботи електрообладнання, реконструкція і переклад мереж на підвищену напругу, впровадження диспетчерського управління та автоматизованих систем управління електропостачанням і урахуванням електроенергії.

Питання якості електроенергії вимагають ретельної розробки і вивчення явищ які при цьому відбуваються. Особливі труднощі пов'язані з відсутністю необхідних вимірювальних приладів в електричних мережах, а також складністю і необхідністю зміни методів вимірювань. Це пов'язано, зокрема, з впливом випадкового характеру змін навантажень, що в свою чергу, вимагає застосування статистичних приладів і відповідної обробки одержуваної інформації - використання ймовірно-статистичних методів розрахунку.

### **Висновки**

Одним з основних питань, що вирішуються при проектуванні і експлуатації систем електропостачання, є питання про компенсації реактивної потужності, що включає розрахунок і вибір компенсуючих пристроїв, їх регулювання і розміщення.

Компенсація реактивної потужності має велике значення і є частиною загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання та поліпшення якості електроенергії.

Реактивна складова немінуча при роботі багатьох промислових пристроїв, тому вона не може бути виключена повністю, однак доцільно застосовувати засоби, призначені для зменшення її споживання з мережі живлення.

Для цього необхідно наближати джерела покриття реактивної потужності до місць її споживання і зменшувати отримання реактивної потужності з енергосистеми. Це розвантажує в значній мірі лінії електропередачі і трансформатори від реактивної потужності.

УДК

**О. В. Третяк**, канд. техн. наук

**О. Ю. Шуть**

**В. Р. Полиєнко**

**Є. С. П'ятницька\***

*ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ»*

*(м. Харків, Україна, e-mail: alex3tretjak@ukr.net)*

*\*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»( м. Харків, Україна)*

## **ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ УКРАЇНИ**

Проведений аналіз технічного стану турбогенераторного обладнання України показує, що більшість турбогенераторів ТЕС відпрацювали свій термін служби. Конструкції турбо- та гідрогенераторів є застарілими, а технічний стан вже не відповідає сучасним вимогам з ефективності, надійності та маневреності. Наразі, внаслідок гострої необхідності приведення показників обладнання до Європейських норм, у зв'язку з майбутньою інтеграцією об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України до Європейської енергетичної системи (ЄЕС), є велика потреба в модернізації існуючих та створенні нових високоекономічних турбогенераторів.

Через вищезазначену причину створення нових високоефективних типів турбо- та гідрогенераторів, впровадження комплексу заходів з модернізації діючого обладнання, направлених на доведення показників турбогенераторів до сучасних вимог, водночас зі збільшенням їх потужності та перевантажувальної здатності, є надзвичайно сучасними і важливими задачами.

Відповідно до енергетичної програми України на період до 2030 року споживання електроенергії в Україні повинно досягти 395,1 млрд. кВт·годин при її виробництві усіма видами електричних станцій – 420,1 млрд. кВт·годин (базовий сценарій). При цьому теплові електростанції мають виробляти 180,4 млрд. кВт·годин електроенергії, що потребує встановлення генеруючих потужностей 46,4 млн. кВт, або 52,43 % від загальної потужності електростанцій, яка сягає 88,5 млн. кВт.

Таким чином, для забезпечення економіки України електричними потужностями у запланованому обсязі до 2030 році необхідно не тільки провести оновлення нині діючих великих ТЕС, ТЕЦ ГЕС, але й додатково побудувати електростанції загальною встановленою потужністю генеруючого обладнання не меншою 17,8 млн. кВт, тобто для нових електростанцій необхідно виготовити обладнання приблизно для 60 енергоблоків потужністю по 300 МВт. Для забезпечення сучасних вимог з надійності та маневреності, стійкого і ефективного функціонування ОЕС України, беручи до уваги умови з інтеграції енергосистеми України до ЄЕС та забезпечення вимог УСТЕ, необхідно також проведення науково-дослідних та проектних робіт.

Крім того, треба зважати на обставини, що 46 % електроенергії в Україні виробляється на АЕС, які повинні працювати в базовому режимі, а потужностей ГЕС та ГАЕС, що працюють в регулюючому режимі, недостатньо (9 % від встановлених потужностей всіх електростанцій України). Тому в сучасній ситуації не тільки газомазутні блоки, але й вугільні повинні брати участь у регулюванні частоти та потужності ОЕС України, що істотно впливає на ресурс теплових енергоблоків й може призвести до виходу їх з ладу раніше запланованого терміну.

Понад 80 % потужностей ТЕС України укомплектовано турбогенераторами виробництва харківського ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ», і на переважній більшості енергоблоків експлуатуються турбогенератори потужністю 200 – 300 МВт. Також підприємство має великий досвід проектування та виробництва гідрогенераторів великої та малої потужності, саме тому ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ» слідує за новітніми тенденціями розвитку турбо- та гідрогенераторобудування й разом з науково-дослідними організаціями України проводить наукові дослідження з метою розроблення і впровадження інноваційних технологій у виробництво для підвищення конкурентоздатності своєї продукції на світовому ринку.

Зважаючи на об'єктивні причини турбогенератори ТЕС ще довгий час будуть використовуватись для покриття пікових і напівпікових навантажень, забезпечуючи базовий режим роботи АЕС. Ця обставина потребує нового підходу до проблеми модернізації діючих турбогенераторів та проектування їх удосконалених зразків, що, в свою чергу, ставить задачу поглиблення досліджень в області моделювання електричних машин, термодинамічних процесів, розрахунку магнітних і температурних полів.

Важливим питанням при експорті електроенергії до європейських країн є розв'язання проблеми високої стійкості турбогенераторів при роботі на довгі лінії електропередач, забезпечуючи режими глибокого споживання реактивної потужності. Для цього необхідно продовжувати роботи з дослідження процесів у скінченних частинах турбогенераторів та розробці заходів з підвищення надійності елементів конструкції при проектуванні та модернізації турбогенераторів шляхом впровадження власно розроблених інноваційних технологій.

Колективом авторів розроблено методику та проведено розрахункові дослідження теплового стану потужних турбо- та гідрогенераторів за допомогою ліцензованого програмного комплексу SolidWorks Simulation, що дозволило створити потужні генератори нового покоління з підвищеними показниками надійності, довговічності та ремонтпридатності. Це забезпечує високу економічність, надійність та маневреність електрогенеруючого устаткування, дає можливість розв'язувати проблему оновлювання турбогенераторного парку України та розширює експортні можливості енергопідприємств нашої держави, що дозволить зробити суттєвий внесок у економічний розвиток країни.