

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розглянуто пошкоджуваність потужних електричних двигунів власних потреб теплових електричних станцій. Звертається увага на те, що при пуску електродвигуна виникає струм, значення якого перевищує номінальне в 5,4 рази, що відповідає збільшенню динамічних сил в обмотці статора в 30 разів у порівнянні з номінальним значенням. Ці сили діють в основному на лобові частини обмотки статора, викликаючи їх деформацію, утворення місцевих дефектів ізоляції та тріщини.

**Ключові слова:** електричний двигун, пошкодження, АВ-8000 / 6000У3, статор, ротор.

### Abstract

*Damage of powerful electric motors of own needs of thermal power plants is considered. Attention is drawn to the fact that when starting the motor there is a current whose value exceeds the nominal 5.4 times, which corresponds to an increase in dynamic forces in the stator winding by 30 times compared to the nominal value. These forces act mainly on the front parts of the stator winding, causing their deformation, the formation of local insulation defects and cracks.*

**Key words:** electric motor, damage, АВ-8000 / 6000U3, stator, rotor.

### Вступ

Забезпечення стабільної роботи електроустановок власних потреб (ВП) електростанції є пріоритетним завданням підтримки електропостачання основних споживачів електричної енергії, так і самої електростанції (котли, турбіни, генератори). Так як механізми ВП електростанцій відносяться до споживачів I категорії по надійності електропостачання, то слід приділити увагу швидкому відновленню роботи цих приймачів в після аварійні режими.

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні методів визначення технічного стану потужних двигунів електричних станцій шляхом аналізу їх залишкового ресурсу.

Для досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи поставлені та розв'язані наступні наукові задачі досліджень:

- виконати аналіз особливостей експлуатації та конструкції потужних електричних двигунів;
- дослідити причини пошкодження потужних двигунів, що експлуатуються на електричних станціях.

Отже врахування якості функціонування розподільних систем та дослідження пошкоджуваності електричних двигунів є актуальним завданням [6].

### Результати досліджень

Надійна робота електродвигунів на електростанціях визначає надійність роботи всього енергоблоку в цілому. Експлуатаційна надійність електродвигунів визначається конструкцією і якістю виготовлення, умовами експлуатації, періодичністю та якістю ремонту. Характер пошкоджень і причину відмов електродвигунів в процесі експлуатації визначають ступінь надійності основних його вузлів: обмотки статора і ротора, підшипників і ін. Використовуючи дані про відмови електродвигунів, визначають найменш надійні елементи конструкції і розробляють заходи щодо підвищення їх надійності та довговічності, збільшення міжремонтного періоду і т. п., а також планують терміни технічного обслуговування і ремонту, періодичність та обсяг випробувань (електричних, гідравлічних, теплових, механічних), номенклатуру запасних частин, витрата електротехнічних матеріалів для ремонту і ін.

Так, зокрема, за даними експлуатуючого персоналу, можна зробити висновок, що електродвигуни типу АВ-8000 / 6000У3 мають низьку експлуатаційну надійність. За даними літературних джерел середнє

значення параметра потоку відмов електричних двигунів на ТЕС становить 0,02 1/рік, тобто з кожних 100 встановлених електродвигунів за рік пошкоджується біля двох.

Висока пошкоджуваність асинхронних двигунів стає причиною значних збитків. На частку електродвигунів доводиться 25-30% загальної кількості пошкоджень електроустаткування, а збиток від пошкоджень електродвигунів в Україні становить 1-1,5 млрд грн на рік. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє скоротити витрати на обслуговування і втрати від позапланових простоїв, підвищити ефективність роботи двигунів і виробничих механізмів.

Близько 35% аварій електричних двигунів пов'язано з пошкодженням обмотки статора. Висока пошкоджуваність обмотки пояснюється важкими умовами праці та недостатньою стабільністю електричних властивостей ізоляційних матеріалів. В результаті пошкодження ізоляції може статися замикання між обмоткою і магнітопроводом, замикання між витками котушок або між фазними обмотками.

#### **Загальні відомості про електричні двигуни живильних насосів**

Електродвигуни типу АВ-8000 / 6000У3 застосовуються на теплових електричних станціях в якості приводу пускорезервних живильних пристроїв котельних агрегатів блоків потужністю 300 МВт. Безпосереднє водяне охолодження обмотки ротора і непряме охолодження водою сердечника та обмотки статора в пазовій частині привели до особливих умов експлуатації та ремонту цих електродвигунів. Тривалий досвід експлуатації електродвигунів дозволив ввести в практику ремонтів ряд заходів, спрямованих на подовження міжремонтного періоду [1].

#### **Аналіз причин пошкоджуваності двигуна**

Під час експлуатації електричних двигунів мають місце різні пошкодження: пошкодження герметичності системи охолодження обмотки ротора; дефект кріплення бандажних кілець ротора та додатково з кожного боку бандажних кілець статора, зволоження лобової частини обмотки статора,

У зв'язку з переведенням в окремих енергосистемах блоків 300 МВт з базового режиму в режим регулювання навантаження, а також переведеннями в резерв у вихідні та святкові дні значно збільшилася кількість пусків електродвигуна АВ-8000 / 6000У3, що негативно впливає на стан кріплення обмотки статора [2].

При пуску електродвигуна виникає струм, значення якого перевищує номінальне в 5,4 рази, що відповідає збільшенню динамічних сил в обмотці статора в 30 разів у порівнянні з номінальним значенням. Ці сили діють в основному на лобові частини обмотки статора, викликаючи їх деформацію, утворення місцевих дефектів ізоляції та тріщин. Це призводить до ослаблення шнурових бандажів, перетирання ізоляції в окремих випадках до міді. Зареєстровано випадки перетирання міжшаровими прокладками мікастрічкової ізоляції лобових частин верхніх стрижнів до міді за період 3,5 року.

Значна частка пошкоджень статора викликана електричними пробоями ізоляції обмотки, що виникають при роботі двигуна або при проведенні профілактичних випробувань підвищеною напругою в період ремонту.

Основні причини, що призводять до зниження рівня ізоляції: зволоження, комутаційні перенапруги, нагрів і температурні деформації, вплив масла, динамічні впливи та старіння ізоляції.

Руйнування ізоляції відбувається під впливом навколишнього середовища внаслідок теплового, механічного або електричного впливу.

Стан поверхні ізоляції значно погіршується при одночасному впливі вологи і масла. Суміш твердих частинок пилу та вологи або масла створює на поверхні ізоляції провідну плівку, що значно зменшує електричну міцність ізоляції обмотки і призводить до міжфазного замикання обмотки в лобових частинах.

Пил, що знаходиться в повітрі, при циркуляції в системі вентиляції осідає на поверхні головок лобових частин. Це значно зменшує зволоження, забруднення та внутрішнє зволоження ізоляції обмотки, викликане тим, що цю частину обмотки ізолюють після укладання стрижнів в пази статора без компаундування. Зволоження пазової частини обмотки статора в експлуатації, як правило, не спостерігається.

Внаслідок недостатньої жорсткості кріплення лобових частин обмотки статора виникають міжфазні замикання через перетирання ізоляції деталями кріплення.

В системі охолодження статора протікання води може бути викликане пошкодженням мідних трубок ребром поперечної стінки корпусу статора в місці їх зіткнення внаслідок вібрації; протікання силумінових сегментів можуть бути викликані внутрішніми пошкодженнями трубок або пошкодженнями трубок в місці виходу їх із сегментів. Пошкодження трубок можуть виникати внаслідок розморожування заповнених конденсатом сегментів, які перебувають у нижній частині сердечника резервного статора, що зберігається при температурі нижче 0 ° С. Різні види пошкоджень електричних двигунів показані на рис 1. Результати аналізу літературних джерел [3-6] за період з 2010 до 2020 року дозволили згрупувати пошкодження ЕД (126 одиниць виведених з експлуатації пошкоджених ЕД) так, як це показано в таблиці 1.



Вигорілі фази обмоток



Бандажна стрічка пошкоджена біля згорілої обмотки



Пошкодження обмотки статора

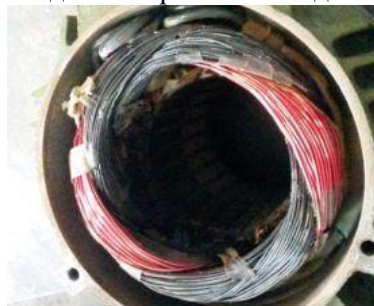


Рис. 1 – Приклади пошкоджень електричних двигунів

Таблиця 1 – Пошкоджуваність електричних двигунів електричних станцій

№ п/п	Пошкоджений вузол	Діагностичний параметр	Кількість виведень ЕД з експлуатації		
			одиниць ЕД, од.	відсотків, %	відносних одиниць, в.о.
Статор					
1	Обмотка статора	k1	30	25	0,25
2	Магнітопровід статора	k2	3	2	0,02
3	Бандаж лобових поверхонь обмотки статора	k3	11	9	0,09
Ротор					
4	Обмотка ротора з магнітопроводом	k4	9	7	0,07
5	Вальниці (підшипники)	k5	42	34	0,34
Інші					
6	Кріплення ЕД (до фундаменту, до іншого обладнання, сам фундамент)	k6	6	5	0,05
7	Система охолодження: повітряна та водяна	k7	9	7	0,07
8	Борни (клемні коробки з клемами)	k8	14	11	0,11
	Разом		126	100	1

В таблиці 1 приведені наступні діагностичні параметри: k1 – коефіцієнт залишкового ресурсу обмотки статора, визначений за результатами вимірювання активного опору ізоляції обмоток фаз А, В і С (не менше 0,5 МОм); k2 – коефіцієнт залишкового ресурсу магнітопроводу статора, визначений за результатами вимірювання струму холостого ходу ЕД (А); k3 – коефіцієнт залишкового ресурсу

бандажу обмотки статора визначений за результатами вимірювання віброприскорення (м/сек<sup>2</sup>) лобових поверхонь (норма не більше 3,6 м/с<sup>2</sup> для ЕД без спеціальних вимог до вібрації); k4 – коефіцієнт залишкового ресурсу обмотки ротора з магнітопроводом, визначений за результатами вимірювання  $\cos(\varphi)$  у відносних одиницях (коефіцієнт потужності  $\cos(\varphi)=0,85$ ); k5 – коефіцієнт залишкового ресурсу вальниць ЕД визначений у відносних одиницях за результатами вимірювання віброшвидкості у м/сек; k6 – коефіцієнт залишкового ресурсу кріплення ЕД визначений у відносних одиницях за результатами вимірювання віброприскорення на корпусі ЕД у м/сек; k7 – коефіцієнт залишкового ресурсу системи охолодження ЕД визначений у відносних одиницях за результатами вимірювання температури лобових поверхонь обмотки статора у градусах за шкалою Цельсія; k8 – коефіцієнт залишкового ресурсу борнів (клемної коробки) виводів ЕД визначений у відносних одиницях за результатами вимірювання перехідного опору в мікроОмах та температури контактів борнів ЕД в °С.

### Висновки

1. Двигуни експлуатуються в тяжких умовах, а саме в умовах високих напруг 6000 або 10000 вольт, підвищеної вологості повітря машинної зали теплової електростанції (ТЕС), насосних, підвищених температур котельних приміщень, а таж в умовах частих перевантажень, пусків та зупинень.

2. Проведені дослідження причини пошкодження потужних двигунів, що експлуатуються на електричних станціях свідчать про те, що до таких причин відносяться перенапруги в колах живлення власних потреб електричних станцій (ЕС), висока вібрація привідних механізмів (кулькових млинів, транспортерів вугілля, дуттєвих вентиляторів і т. п.), струмові пускові перевантаження в умовах дії АПВ та інші.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малафеев А.В., Тремасов М.А. Разработка уточненной методики расчета моментно-скоростной характеристики питательного насоса тепловой электростанции в задаче анализа устойчивости собственных нужд // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №3. С.58-63.
2. Диагностика и прогнозирование состояния асинхронных двигателей на основе использования параметров их внешнего электромагнитного поля / А.Ю. Алексеенко, О.В. Бродский, В.Н. Веденеев, В.Г. Тонких, С.О. Хомутов // Вестник Алтай. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова. – 2006. – № 2. – С. 79–83.
3. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996. – 276 с.
4. Малафеев А.В., Тремасов М.А. Анализ устойчивости двигателей собственных нужд тепловых электростанций с учетом характеристик приводных механизмов // Электротехнические системы и комплексы. 2016. №4(33). С.6-13.
5. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. – 140 с.
6. Лежнюк П. Д. Врахування якості функціонування розподільних систем під час їх реконструкції / П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, В.О. Лесько, А. Л. Поліщук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – частина 1. – №3(56). – 2009. – с. 172-175.

**Рубаненко Олександр Євгенійович** — канд. техн. наук, професор кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

**Гунько Ірина Олександрівна** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, email : iryna\_hunko@ukr.net

**Мельничук Дмитро Олександрович** — студент гр. ЕС 20 м Факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, studgor@gmail.com

**Rubanenko Aleksandr Yevheniiovich** - Candidate of Philology tech. Sciences, Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

**Hunko Iryna Oleksandrivna** - Candidate of Philology tech. Sciences, Senior Lecturer, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, email: iryna\_hunko@ukr.net

**Melnichuk Dmitry Oleksandrovich** - student of gr. ES 20 m Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, studgor@gmail.com