

УДК 621.313

**Д.В. ПОЛКОВНИЧЕНКО** (канд. техн. наук, доц.)  
**Державний вищий навчальний заклад**  
**«Донецький національний технічний університет»**  
**73pdv@mail.ru**

## **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ УСТАТКУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ**

*Ефективність роботи електричних систем багато в чому залежить від надійної роботи електричного устаткування, яка в свою чергу визначається стратегією його обслуговування і ремонтів. У даній статті розглянуті сучасні підходи до впровадження системи обслуговування електроустаткування електричних систем за фактичним станом, яка дозволить зменшити експлуатаційні витрати та збільшити надійність цих систем в цілому.*

**Ключові слова:** електроустаткування, електрична система, планово-попереджувальні ремонти, обслуговування за фактичним станом, діагностика, прогнозування технічного стану, надійність.

**Постановка проблеми.** Найважливішим завданням в сучасній промисловості є питання забезпечення максимального виробничого ефекту (отримання максимального прибутку). Вирішення даного завдання в електричних системах багато в чому залежить від надійності роботи та від раціональності системи технічного обслуговування і ремонтів (ТОіР) електроустаткування.

У теперішній час для підтримки електроустаткування в працездатному стані використовуються ряд технічних заходів, обсяг і періодичність виконання яких нормується системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Однак в сучасних економічних умовах ефективність виконання заходів, що регламентовані цією системою, є дуже низькою [1]. Технічне обслуговування й ремонт електроустаткування часто проводиться несвоєчасно. Це викликано тим, що виконання ТОіР у СРСР регламентувалося системою державних і галузевих нормативів, які визначали плани - як, коли, у якому обсязі й ким повинні здійснюватися відповідні роботи. Ця система ППР носила витратний характер, не мала достатню гнучкість, але забезпечувала експлуатацію устаткування відповідно до галузевих норм і стандартів безпеки. Однак, при переході від планової економіки до ринку, підприємства не змогли мати втрати на ТОіР у колишньому обсязі, що привело в багатьох галузях до постійного невиконання планів ремонтів, до втрати надійності устаткування й збільшенню ресурсів, необхідних для підтримки його працездатності в майбутньому [2]. Також існуюча на даний час в Україні система ТОіР не як не сприяє підвищенню керованості електричних систем, що є основною вимогою до інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid).

За даними, що наведені в [3], витрати на технічне обслуговування устаткування в енергетичному секторі в країнах ЄС складають \$18 на кінець року (к.с.) – при роботі до виходу із ладу, \$13 на к.с. – за системою ППР та \$9 на к.с. – при системі обслуговування за фактичним станом (ОФС).

До того ж порівнюючи системи ППР і ОФС можна виділити основні переваги другого підходу [4]:

- при ППР біля 50% робіт виконується без фактичної на то необхідності;
- при ППР спостерігається зниження надійності устаткування відразу після проведення ремонту;
- при ППР виконується заміна деталей з великим залишковим ресурсом;
- при ОФС завжди відомий фактичний стан устаткування;
- при ОФС підвищується ефективність ремонту за рахунок післяремонтного діагностування;
- при ОФС вірогідно визначаються строки необхідних робіт із профілактики та ремонту устаткування.

Хоча ОФС й вимагає додаткових витрат на оснащення устаткування системами моніторингу і діагностики, але як показує практика ці витрати швидко окупаються та приносять додатковий прибуток.

Метою системи ОФС є підвищення надійності та зниження експлуатаційних витрат. Згідно до основної концепції системи ОФС для ухвалення рішення про необхідність виконання яких-небудь відбудовних і ремонтних робіт треба мати оперативну інформацію про технічний стан вузлів або електроустаткування в цілому. Тому одним з основних є завдання вибору методу діагностики для одержання інформації про технічний стан із заданою вірогідністю.

Таким чином, для підвищення економічної ефективності виробництва і конкурентоздатності підприємства актуальним питанням є впровадження та використання системи обслуговування і ремонтів електроустаткування за фактичним станом.

**Метою даної статті** є аналіз сучасних підходів до впровадження і використання системи ОФС електроустаткування електричних систем.

**Результати дослідження.** Для реалізації системи ОФС необхідне виконання наступних умов [5]:

- економічна доцільність;
- придатність устаткування до контролю технічного стану;

- наявність приладової бази;
- методика визначення технічного стану і його прогнозування;
- спеціально навчений персонал.

Економічна доцільність переходу на систему ОФС є незаперечною, а практично усі елементи електроустаткування є придатними до контролю їх стану. Але впровадженню системи ОФС з технічної точки зору перешкоджає наявність на ринку великої кількості вимірювально-діагностичних комплексів, складність розроблених методів і методик прогнозування технічного стану, а також людський фактор (результати контролю прямо залежать від кваліфікації фахівця, складність навчання фахівців, необхідність наявності великого штату співробітників, що займаються діагностикою, необхідність досить великого часу для проведення діагностування, відсутність технологічних карт, висока ймовірність одержання некоректного висновку при однократних обстеженнях устаткування, висока складність складання висновку про залишковий ресурс механізму). До того ж відсутні спеціалізовані правила і норми техніки безпеки для проведення діагностування.

До того ж призначати однакову стратегію обслуговування для всього різноманіття електроустаткування електричних систем недоцільно. Для кожного елемента, вузла, агрегату повинна бути обрана своя стратегія з урахуванням їх ролі в забезпеченні показників ефективності експлуатації устаткування з використанням економіко-математичних моделей.

При цьому для аналізу використовуються:

- показники надійності устаткування та його елементів;
- вартість планових проведень ТОіР;
- значення збитку від простою устаткування;
- вплив фактичного технічного стану устаткування;
- вартість проведення технічного діагностування в необхідному обсязі;
- забезпечення вимог безпеки.

Таким чином, початок формування системи ТОіР необхідно проводити на рівні агрегатів і вузлів, а потім устаткування в цілому. Вибір стратегії ТОіР можна вести у відповідності зі схемою (рис.1) [5].

Показники надійності та безвідмовності будь-якого електроустаткування електричної системи залежать від умов і режимів експлуатації, параметрів конструкції, а також застосовуваних методів і засобів його ТОіР. Відмови електроустаткування за їх фізичною природою є наслідком фізико-хімічних процесів, що безпосередньо або побічно впливають на працездатність елементів і виникнення ушкоджень, які визначаються типом матеріалу, що використовується, місцем протікання процесів старіння та відновлення, видом енергії, що визначає характер відповідного процесу, експлуатаційним і ремонтним впливом, внутрішнім механізмом процесів [6].

Кожен метод технічної діагностики заснований на контролі протікання певного фізичного процесу. Параметри цього процесу зв'язані відомою закономірністю з технічним станом контрольованого вузла електроустаткування. Таким чином, за зміною параметрів процесу можна судити про зміну стану вузла, що діагностується. Взаємозв'язок параметрів фізичного процесу з технічним станом досліджуваного вузла не завжди буває однозначним. На протікання процесу можуть впливати інші фактори, що є причиною низької вірогідності деяких методів. З іншого боку, різна технічна реалізація того самого методу діагностики може забезпечувати одержання результатів, що відрізняються за точністю. Крім того, зміна методики виміру приводить до наявності в одного методу декількох діагностичних параметрів, що відрізняються вірогідністю отриманої інформації [7].

Основним завданням технічного діагностування є одержання достовірної інформації про технічний стан електроустаткування в процесі його експлуатації. Воно вирішується на основі виміру, контролю, аналізу й обробки кількісних та якісних значень параметрів електроустаткування, а також шляхом керування устаткуванням відповідно до алгоритму діагностування.

Аналіз причин виникнення дефектів електроустаткування показує, що технічний стан кожного з них характеризується як тільки йому властивими індивідуальними, так і загальними ознаками. Для кожного виду устаткування характерні свої типові дефекти, що багаторазово зустрічаються в експлуатації. Об'єднавши всі дефекти й ознаки їхньої появи в окремі групи, можна одержати структуру діагностування електроустаткування, що складається із трьох рівнів і підсистем: перевірки функціонування, виявлення дефектів, оцінки і прогнозування працездатності. При цьому на кожному наступному рівні використовуються результати попередніх рівнів.

Технічна діагностика електроустаткування містить у собі два головних напрямки - оперативну і ремонтну діагностику. В основні завдання оперативної діагностики входять:

- раннє виявлення дефектів на працюючому або виведеному з роботи для обстеження (але не розібраному) устаткуванні;
- прогнозування розвитку дефектів, оцінка їхньої небезпеки та загального стану устаткування.

Діагностування технічного стану і прогнозування надійності можна здійснювати на різних стадіях створення і використання електроустаткування: на етапі проектування, виробництва та експлуатації. На етапі експлуатації електроустаткування вихідними даними є передбачувані закономірності зміни його технічних параметрів [8].

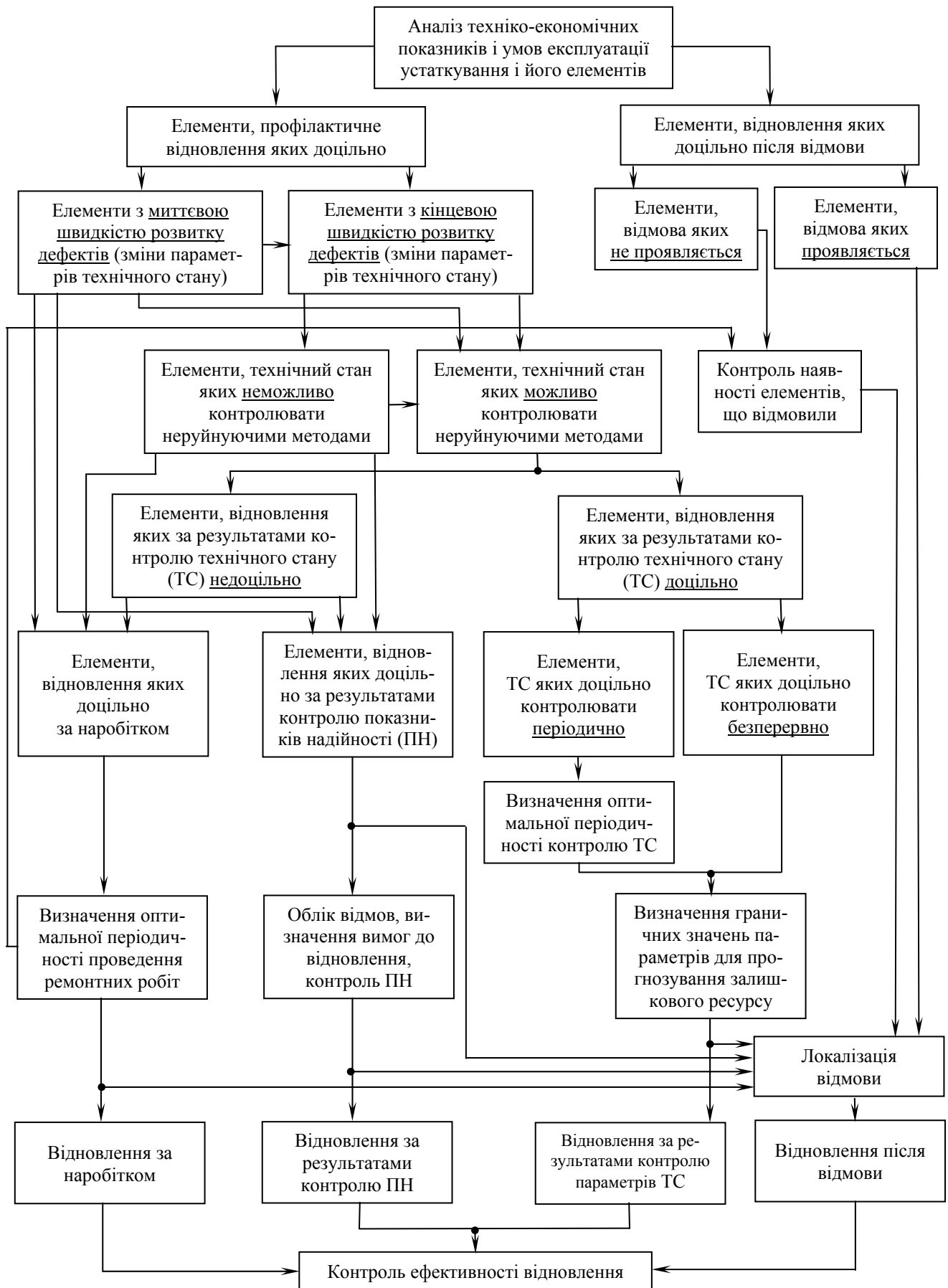


Рисунок 1 – Схема вибору стратегії проведення технічного обслуговування електроустаткування

В [9] запропонована блок-схема процесу прийняття рішення про проведення ремонту електродвигуна, що наведена на рис.2.

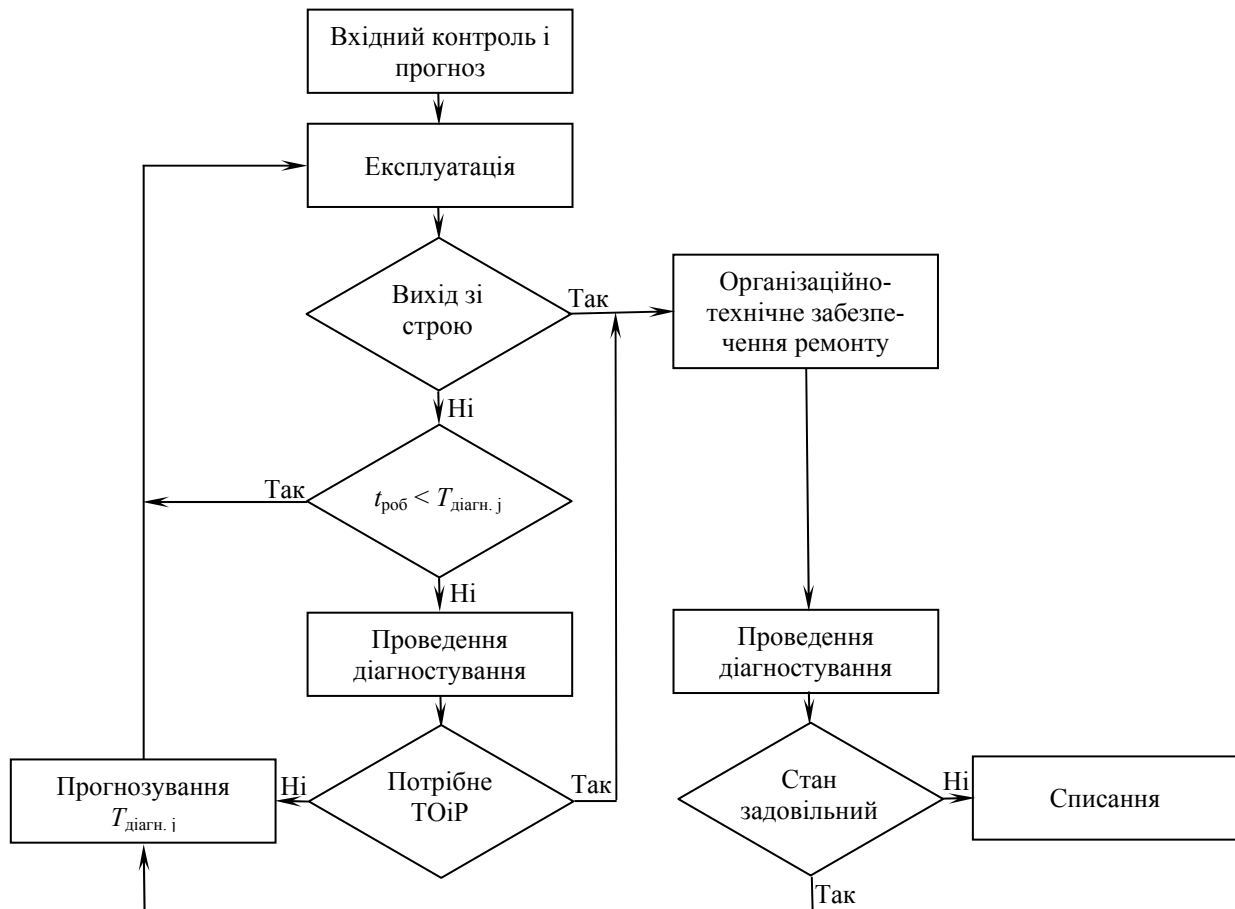


Рисунок 2 – Пропонована блок-схема процесу прийняття рішення про проведення ремонту електродвигуна

У більшості випадків надійна робота електроустаткування пов'язана зі станом його ізоляції. Аналіз схем побудови ізоляційних конструкцій показує, що для різних видів електроустаткування набір діагностичних методів різний. При цьому надійність діагностики вимагає збільшення кількості методів і періодичності, а, з іншого боку, економічний аспект змушує зменшувати обсяг робіт. В останні роки пропонується підхід, який отримав назву "багатопараметричної діагностики" (БПД). Згідно БПД визначається оптимальний набір методів діагностики залежно від виду електроустаткування. В табл.1 наведені результати дослідження ефективності методів діагностики для різних видів електроустаткування [10].

Таблиця 1 – Ефективність методів діагностики для різних видів електроустаткування

Методи		Ефект-ричні машини	Кабелі	КРП	Трансфор-матори	Вимірю-вальні ТС і ТН	ОПН
Тепловізійна діагностика		-	-	-	+	++	+++
Аналіз масла		-	-	-	+++	+++	-
Контроль tg δ	При експлуатації	-	-	-	+	+++	-
	Від стороннього джерела	-	-	-	++	++	-
Контроль часткових розрядів	При експлуатації	+++	+	+++	+++	+	-
	Від стороннього джерела	++	+++	+	+	++	-
Контроль опору постійному струму від стороннього джерела		++	+	-	+	+	++

Як видно з даних табл.1, для всіх видів ізоляції найбільш надійним методом діагностики технічного стану є вимір характеристик часткових розрядів. Для маслорозповненого устаткування ефективним є аналіз масел (за розчиненими газами, вологовмістом, концентрацією фуранових з'єднань й антиоксидантів). Гарну інформацію про дефекти з тепловиділенням дає тепловізійний контроль.

При використанні БПД виникає необхідність оцінки результатів діагностики технічного стану устаткування. Нормовані показники кожного методу різні, немає можливості зіставляти "прямо" отримані за різними методами дані. Із цієї причини була прийнята нова процедура "класифікації", що дозволяє розділити технічний стан устаткування на кілька класів залежно від рівня отриманої характеристики. Деякі системи класифікацій наведені в табл.2 [11].

Таблиця 2 - Системи класифікації технічного стану електрообладнання

1	Дворівнева класифікація	«Успішно – неуспішно» (так – ні)
2	Трирівнева класифікація	- Норма (так) - Погіршене - Предаварійне (ні)
3	П'ятирівнева класифікація	- Норма (так) - Норма з відхиленнями - Норма зі значними відхиленнями - Погіршене (ні) - Предаварійне

Більш докладно п'ятирівнева система класифікації з визначенням особливостей дефекту і обсягом рекомендацій наведена в табл.3 [11].

Таблиця 3 – П'ятирівнева система класифікації технічного стану

Технічний стан ізоляції		Ступінь розвитку дефекту ізоляції	Ремонтно-профілактичні заходи
Предаварійне		Неприпустимий дефект, необхідно негайне відключення	Демонтаж із заміною обладнання на нове
Погіршене		Небезпечний дефект, експлуатація можлива при прискореному контролі	Підготовка і планування капітального ремонту
Норма	зі значними відхиленнями	Розвинутий дефект; характеризується прискореним темпом розвитку	Експлуатація з наступним (планованим) ремонтом. Можливий ремонт на місці
	зі слабкими відхиленнями	Отримана характеристика дефекту перевищує рівень шумів	Експлуатація при дотриманні профілактичних заходів
	без зауважень (сигнал на рівні шумів)	Характеристики на рівні шумів	Експлуатація без обмежень

Коли виконано обстеження технічного стану, для висновку за результатами діагностики (при використанні декількох методів) розумно використовувати "песимістичну оцінку", у даній ситуації в цілому по об'єкту приймається гірший діагноз.

Як було вже сказано вище використання системи ОФС дозволяє також контролювати якість проведення ремонтних та монтажних-налагоджувальних робіт, що значно впливає на надійність роботи устаткування.

Таким чином, виконаний аналіз дозволив сформулювати область застосування технічних засобів діагностики при використанні системи ОФС (рис.3) [12].



Рисунок 3 - Область застосування технічних засобів діагностики при використанні ОФС

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що впровадження системи ОФС електроустаткування електричних систем дозволить знизити витрати на проведення ТОіР та підвищити надійність роботи устаткування. Але для цього необхідно проводити наступні роботи:

- вдосконалювати методи діагностики і методи прогнозування технічного стану електроустаткування;
- розробляти комбіновані технічні засоби діагностики і прогнозування технічного стану;
- підвищувати кваліфікацію і професіоналізм персоналу електричних систем, що обслуговує електроустаткування;
- створювати на підприємствах електроенергетики спеціалізовані лабораторії, завданням яких є проведення діагностування і прогнозування технічного стану електроустаткування.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Техническое обслуживание по фактическому состоянию [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: [http://www.systematic.ru/tehnicheskoe\\_obslyuzhivanie\\_po\\_fakticheskomu\\_sostoyaniyu.html](http://www.systematic.ru/tehnicheskoe_obslyuzhivanie_po_fakticheskomu_sostoyaniyu.html).
2. Хомутов С.О. Прогнозирование вероятности безотказной работы электродвигателей на основе количественной оценки степени влияния воздействующих факторов / С.О. Хомутов, Е.В. Кобозев // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - 2006. - № 2. – С. 4-8.
3. Технология обслуживания по фактическому состоянию [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://www.vdmk.com/information/tofs.htm>.
4. Холоденин А.А. Сравнение стратегий технического обслуживания электрооборудования [Электронный ресурс] / А.А. Холоденин // Материалы X региональной научно-технической конференции [«Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону»] / СевКавГТУ. - 2006. - Режим доступа к журн.: <http://www.ncstu.ru>.
5. Дрыгин М.Ю. Построение системы ремонтов горного оборудования [Электронный ресурс] / М.Ю. Дрыгин // Электронный научный журнал «Исследовано в России». - Режим доступа до журн.: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/081.pdf>.
6. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие. – Режим доступа: [http://oksion.ru/uchebnik\\_nadezhnost\\_tehnicheskikh\\_sistem/index.html](http://oksion.ru/uchebnik_nadezhnost_tehnicheskikh_sistem/index.html). – Загл. с экрана.
7. Грибанов А.А. Совершенствование системы технического сервиса сельскохозяйственного электрооборудования / А.А. Грибанов // Ползуновский вестник. - 2010. - № 4/2. – С. 41-48.
8. Гутов И.А. Математические модели для прогнозирования технического состояния изоляции электрооборудования / И.А. Гутов // Ползуновский вестник. - 2009. - № 4. – С. 68-75.
9. Хомутов С.О. Комплекс мероприятий по повышению надежности электрических двигателей в сельском хозяйстве на основе достоверных методов диагностики и эффективных технологий восстановления изоляции. / С.О. Хомутов // Ползуновский вестник. - 2010. - № 4/2. – С. 70-76.
10. Возможности диагностики высоковольтного оборудования без их вывода из эксплуатации для обоснования объема ремонта [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: [http://www.diacs.com/ru/article/1\\_3.pdf](http://www.diacs.com/ru/article/1_3.pdf).
11. Диагностика изоляции статорных обмоток высоковольтных двигателей нефтеперекачивающих станций на рабочем напряжении / В.В. Радченко А.П. Горских, А.Г. Кошель, Ю.П. Аксенов // Трубопроводный транспорт. - 1999. - № 3.
12. Хомутов С.О. Новые методы и технические средства диагностики электродвигателей в агропромышленном комплексе / С.О. Хомутов, Ю.А. Тонких, В.С. Дронов // Ползуновский вестник. - 2009. - № 4. – С. 109-115.

#### REFERENCES

1. Technical maintenance according to real state [Electronic resource]. – Regime of the access: [http://www.systematic.ru/tehnicheskoe\\_obslyuzhivanie\\_po\\_fakticheskomu\\_sostoyaniyu.html](http://www.systematic.ru/tehnicheskoe_obslyuzhivanie_po_fakticheskomu_sostoyaniyu.html).
2. Homytov S.O., Kobozev E.V. Prognostication of probability of survival electric motors on basis of the quantitative estimate of influencing factor level. Vestnik AltGTU im. I.I. Polzunova. 2006; № 2: 4-8.
3. Technology of the maintenance according to real state [Electronic resource]. – Regime of the access: <http://www.vdmk.com/information/tofs.htm>.
4. Holodenin A.A. Technical maintenance strategy comparison of the electric equipment. X regionalnay konferentsiya «Vuzovskaya nauka - Severo-Kavkazskomu regionu» (X regional research conference «Vuzovskaya science - a North-Caucasian region»). SevGTU, 2012. [Electronic resource]. – Regime of the access: <http://www.ncstu.ru>
5. Drygin M.U. Building of the system of repairs mountain equipment. Elektronniy naychniy zhurnal “Issledovano v Rossii” [Electronic resource]. – Regime of the access: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/081.pdf>.
6. Reliability of the technical systems and technogen risk. Electronic scholastic allowance. – Regime of the access: [http://oksion.ru/uchebnik\\_nadezhnost\\_tehnicheskikh\\_sistem/index.html](http://oksion.ru/uchebnik_nadezhnost_tehnicheskikh_sistem/index.html).
7. Griбанov A.A. Improvement of the system of the technical service of the agricultural electric equipment. Polzunovskiy vestnik. 2010; № 4/2: 41-48.
8. Gutov I.A. Mathematical models for forecasting of the technical state of the electric equipment insulation. Polzunovskiy vestnik. 2009; № 4: 68-75.

9. Homytov S.O. Complex actions on increasing of reliability of the electric motors in agriculture on base of the reliable diagnostics methods and efficient technology of the insulation restoration. Polzunovskiy vestnik. 2010; № 4/2: 70-76.

10. Possibilities of the high-tension equipment diagnostics without their conclusion from usage for substantiation of the repair volume [Electronic resource]. – Regime of the access: [http://www.diacs.com/ru/article/1\\_3.pdf](http://www.diacs.com/ru/article/1_3.pdf).

11. Radchenko V.V., Gorskih A.P., Koshel A.G., Aksenov U.P. Diagnostics of the stator windings insulation of high-tension motors of the oil-line station on working voltage. Truboprovodniy transport [Pipe-line transport]. 1999; № 3.

12. Homytov S.O., Tonkih U.A., Dronov V.S. New methods and technical facilities of the electric motors diagnostics in agricultural complex. Polzunovskiy vestnik. 2009; № 4: 109-115.

Надійшла до редакції 17.02.2013

Рецензент: М.В. Гребченко

Д.В. ПОЛКОВНИЧЕНКО

Государственное высшее учебное заведение "Донецкий национальный технический университет"

**Современные подходы к техническому обслуживанию оборудования электрических систем.** Эффективность работы электрических систем во многом зависит от надежной работы электрического оборудования, которая в свою очередь определяется стратегией его обслуживания и ремонтов. В данной статье рассмотрены современные подходы к внедрению системы обслуживания электрооборудования электрических систем по фактическому состоянию, которые позволяют уменьшить эксплуатационные затраты и увеличить надежность этих систем в целом.

**Ключевые слова:** электрооборудование, электрическая система, плано-предупредительные ремонты, обслуживание по фактическому состоянию, диагностика, прогнозирование технического состояния, надежность.

D. POLKOVNICHENKO

State Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University"

**Modern Approaches to Technical Maintenance of the Electric Systems Equipment.** The most important problem of the modern industry is a question of the ensuring the maximum production effect (the ensuring the maximum profit). The solution to this problem in electric systems much depends on reliability of the work and rationality of the system of the technical maintenance and repairs of the electric equipment. At present for support of the electric equipment in runnable state system planned-preventive repair is used. However in modern conditions the efficiency of the measures, which are specified for these systems, is very low. So at present the most efficient there is system of the servicing the equipment according to the real technical state. The system of maintenance according to real state requires the additional expenses for introduction of the systems of the diagnostics and prognostication of the equipment state. But on the practice these expenses are quickly compensates and brings additional profit. The purpose of this article is an analysis of the modern approaches of introduction and using of the technical maintenance according to real state of the equipment on electric systems. For each element, the node, the aggregate must be selected its strategy with provision for their role in ensuring the factors of efficiency of equipment exploitation with use of the economic and mathematical models. In conformity with concept of the system of the maintenance according real state for decision making about need of the reconstruction and repair it is necessary to have operative information on technical condition of the nodes or equipment as a whole. Therefore, one of the main tasks is to select the method of diagnostics for receipt of the information on the equipment technical state with a high validity. Diagnostics of the technical state and prognostication of reliability can be done at different stages of development and use of electrical equipment: during the design, production and exploitation. At the last years approach is offered, which has got the name "multivariable diagnostics". According to the concept of multivariable diagnostics the optimal set of diagnostic methods is defined according to the type of electrical equipment. Use of system of the maintenance according to real state allows also to check the quality of the repair execution and erection-adjustment works. The conducted analysis has shown that introduction of the system of the maintenance according to real states of electric systems electric equipment will allow to reduce the expenses on the maintenance and raise reliability of the functioning the equipment. But it is necessary to carry out the following work: improve the methods of diagnostics and prognostication of the electrical equipment technical state; devise a combined technical means of diagnostics and prognostication of the electric equipment technical state; improve the qualification and professionalism of the staff of electrical systems; create on the enterprises of electric power engineering of specialized laboratories whose task is to carry out the diagnostics and prognostication of the electrical equipment technical state.

**Key words:** electric equipment, electric system, planned-preventive repairs, maintenance on real state, diagnostics, prognostication of the technical state, reliability.