

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.313.333.2

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160276

© Кривонос В.Е.¹, Злепко С.М.², Пірроти Є.Л.³

КРИТЕРІЇ СТВОРЕННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ, УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Надійність роботи силового електрообладнання (ЕО) промислових підприємств, сільського господарства і медичних установ в значній мірі залежить від режимів роботи і якості електроенергії мережі живлення. Існуючі способи захисту ЕО, наприклад, рентгенівського комп'ютерного томографа, діють вибірково і їхні дії спрямовані на виявлення і захист електрообладнання від певного виду дефекту. У даній роботі розглянуто критерії створення єдиної системи управління, діагностики та захисту, яким є «ЕО + мережа живлення», як єдиного комплексу для управління режимами включення ЕО. Повний обсяг системи складається з п'яти рівнів видів захистів. Використання кількості рівнів визначається видом ЕО і величиною можливої шкоди. Перший рівень захисту – це діагностика стану мережі – початковий і подальший безперервний моніторинг рівня лінійних напруг і швидкості зміни фронту першої гармонійної складової напруги живлення. Другий рівень – це діагностика причин обриву струмоведучих ліній. Третій рівень захисту – це температурний захист ЕО і діагностика причин виникнення теплових перевантажень. Четвертий рівень – безперервний моніторинг температурних показників ЕО. П'ятий рівень – контроль величини опору ізоляції та діагностика причин її зниження; захист ізоляції від зволоження; продовження терміну її експлуатації та забезпечення надійності та безаварійної роботи ЕО.

Ключові слова: діагностика електрообладнання, захист електрообладнання, багаторівнева система захисту медичного обладнання.

Кривонос В.Е., Злепко С.М., Пірроти Е.Л. Критерии создания многоуровневой системы диагностики, управления и защиты электрооборудования. Надежность работы силового электрооборудования (ЭО) промышленных предприятий, сельского хозяйства и медицинских учреждений в значительной степени зависит от режимов работы и качества электроэнергии питающей сети. Существующие способы защиты ЭО, к примеру, рентгеновского компьютерного томографа, действуют избирательно и их действия направлены на выявление и защиту электрооборудования от определенного вида дефекта. В данной работе рассмотрены вопросы создания единой системы управления, диагностики и защиты «ЭО + питающая сеть» как единого комплекса для управления режимами включения ЭО после проведения диагностики состояния токовых цепей ЭО, аварийных режимов в сети, сопротивления изоляции ЭО и кабельных сетей.

Ключевые слова: диагностика электрооборудования, защита электрооборудования, многоуровневая система защиты медицинского оборудования.

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, yahtverf@mail.ru

² д-р техн. наук, професор, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

³ д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

V.E. Krivonosov, S.M. Zlepko, E.L. Pirotti. Criteria of creating a multi-level system of electrical equipment diagnostics, control and protection. The reliability of the power electrical equipment (EE) of industrial enterprises, agriculture and medical institutions largely depends on the operating modes and power quality of the supply network. The existing methods of protecting EE, of an X-ray CT scanner, for example, act selectively and their actions are aimed at identifying and protecting electrical equipment from a certain type of a defect. This paper considers the criterion for creating a unified system of control, diagnostics and protection, which is – «EE + supply network» as a unified complex for controlling the switching modes of EE. The total volume of the system consists of five levels of protection types. The number of levels is determined by the type of EE and the magnitude of the possible estimated damage. The first level of protection is the diagnostics of the network state – the initial and subsequent continuous monitoring of the line voltages level and the rate of change of the front of the supply voltage first harmonic component. The second level is the diagnostics of the causes of the current-carrying lines breakage. The third level of protection is EE temperature protection and diagnostics of the thermal overloads causes. The third level is continuous monitoring of temperature indicators of EE. The fourth level is continuous monitoring of bolted connections temperature indicators. The fifth level is control of the insulation resistance value and diagnostics of the reasons for its decrease; moisture isolation protection; EE life prolongation, reliability and trouble-free work ensuring.

Key words: *electrical equipment diagnostics, electrical equipment protection, multilevel system of medical equipment protection.*

Постановка проблеми. Надійність роботи силового електрообладнання (ЕО) промислових підприємств, сільського господарства і медичних установ в значній мірі залежить від режимів роботи і якості електроенергії мережі живлення. Аварійні режими та відхилення показників якості електроенергії (ПКЕ) часто призводять до поломки ЕО, випуску неякісної продукції та великим економічним збиткам [1]. Розвиток діагностичних магніторезонансних і рентгєнівських комп'ютерних технологій змушує більше уваги приділяти безпеці електроживлення, так як нехтування цією вимогою може завдати непоправної шкоди пацієнтам [2].

Забезпечення надійної та безаварійної роботи ЕО можливо при використанні сучасних засобів діагностики і захисту. Робота існуючих і регламентованих засобів захисту МЕР, як правило, вузько направлена на певний вид пошкодження або контрольований параметр. Відсутність єдиного комплексу управління, діагностики та захисту ЕО як єдиної системи «ЕО + мережа живлення» є причиною зниження надійності роботи підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час все діагностичне і терапевтичне ЕО працює за наступним способом управління: за допомогою комутаційного апарату (КА) подається живлення на ЕО, після чого оператор (лікар, медпрацівник) з пульта управління, розташованого на медичному апараті, призводить апарат в стан прогріву. За допомогою програмного забезпечення задається режим, час і потужність параметру, що випромінюється, і проводиться обстеження пацієнта. Оператор під час включення КА для подачі живлення на ЕО та проведення обстеження не контролює технічний стан системи електропостачання, тобто цілісність струмових ланцюгів, фіксацію болтових з'єднань, стан ізоляції ЕО і кабельних ліній, аварійні режими в мережі живлення, рівні відхилень величини напруг мережі і струмів навантаження від номінальних значень. Неповнофазні режими в мережі, відхилення величин напруги від номінального значення є причиною виникнення внутрішніх поломок ЕО і отримання недостовірною результату обстеження хворого. При роботі ЕО важливо забезпечити узгодження всіх видів захисту ЕО і режимних змін в енергосистемі з метою виявлення початкового моменту виникнення аварійної ситуації та запобігання її розвитку.

Існують наступні способи захисту ЕО від аварій.

Тепловий спосіб захисту [3], в якому контролюють температуру вузла, і при досягненні температури заданої величини через перевищення величини робочого струму або напруги допустимого діапазону відключають ЕО від мережі.

Спосіб захисту від аварій в електромережах, реалізований пристроєм управління та захисту електрообладнання [4], у якому контролюють величини напружень, порівнюють їх з допус-

тимими значеннями, і при відхиленнях вимірюваних величин від заданих значень відключають ЕО від мережі.

Термочутливі або температурні способи захисту, наприклад [5], в яких вимірюють величину термоопору, що змінюється в залежності від температури датчика, встановленого на вузлі ЕО, порівнюють набуте значення із заданою величиною і по перевищенню заданої величини судять про температурне перевантаження, сигналізують про аварійну ситуацію або відключають медичне обладнання (МО) від мережі.

Максимально струмові способи захисту електрообладнання, реалізовані в пристрої захисту трифазних навантажень, в яких вимірюють величину сили струмів в одній, двох або трьох фазах навантаження, встановлюють допустиму величину сили струму, кратну номінальній величині сили струму ЕО, і при перевищенні цього значення миттєво відключають електрообладнання від мережі.

Комбінований спосіб захисту [6], в якому одночасно контролюють величини декількох параметрів, встановлюють черговість вимірювання контрольованих величин, встановлюють межі відхилення виміряних величин, порівнюють отримані значення з заданими відхиленнями і при відхиленні вимірюваної величини від заданого граничного значення відключають ЕО від мережі.

Мета роботи. У даній роботі розглянуто питання створення єдиної системи управління, діагностики та захисту «ЕО + мережа живлення» як єдиного комплексу для управління режимами включення ЕО після проведення діагностування стану струмових ланцюгів ЕО, аварійних режимів в мережі живлення, електричного опору ізоляції ЕО і кабельної мережі в періоди роботи рентгенівського комп'ютерного томографа (РКТ), захисту ЕО від внутрішніх перенапруг, викликаних появою неповнофазного режиму мережі живлення, обривом або ослабленням болтових або гвинтових з'єднань струмоведучих частин, раптового провалу напруги, несанкціонованого відключення живлення, температурних перевантажень. При діагностуванні аварійних режимів в мережі, струмових ланцюгах і температурних перевантаженнях, відключення ЕО від мережі виконується без пошкоджень.

Виклад основного матеріалу. Існуючі способи захистів діють вибірково, і їхні дії спрямовані на виявлення і захист електрообладнання від певного виду дефекту. Момент дії цих захистів настає після підключення електрообладнання до мережі живлення, а дія захисту здійснюється під час роботи електрообладнання та при досягненні контрольованого параметра критичної позначки. При експлуатації ЕО не виключається можливість підключення ЕО до мережі живлення при наявності неповнофазного режиму в мережі, ослабленому болтовому з'єднанні струмоведучих частин, обриві кола струму однієї з фаз і при величині опору ізоляції ЕО і кабелю живлення нижче 0,5 МОм. У існуючих засобах не проводиться виявлення причин відключення електрообладнання від мережі, а ЕО відключається від мережі без попередження при досягненні контрольованим параметром критичної позначки. Для ЕО, такого як РКТ, раптове відключення від мережі призводить до виникнення електрорушійної сили (ЕРС) самоіндукції, появи високої напруги на внутрішніх елементах РКТ, що призводить до поломки елементів РКТ.

Для вирішення існуючої проблеми розроблено багаторівневу систему управління, діагностики та захисту (БСУДЗ) та програмні алгоритми діагностування причин виникнення та прогнозування розвитку передаварійного процесу. Для забезпечення роботи БСУДЗ розроблена схема модуля електроживлення ЕО, зокрема для асинхронних двигунів і РКТ, яка наведена на рис. 1. На електричній схемі позначено: вузлові з'єднання з встановленими датчиками температур болтових з'єднань – 1, 3, 5, 6, 7 і 8; комутаційний блок – 2; блок вимірювання сили фазних струмів – 4; твердотільні реле ТТР – 7; ЕО – 9; датчики вимірювання температур ЕО – 10; також вимірюються лінійні значення напруги мережі.

Для комплексного діагностування та захисту різних видів ЕО розроблена методологія, що містить п'ять рівнів захистів.

На рис. 2 наведена структурна схема проходження сигналів і черговість роботи рівнів захистів багаторівневої діагностичної системи захисту ЕО. Встановлена черговість діагностування стану режимів мережі, цілісності струмових ланцюгів, болтових з'єднань, діагностування причин теплових перевантажень ЕО, контроль величини опору ізоляції ЕО до його включення в мережу і безаварійне відключення ЕО від мережі при аварійній ситуації дозволяє підвищити

достовірність діагностики аварійних режимів мережі живлення та забезпечити безаварійну роботу ЕО.

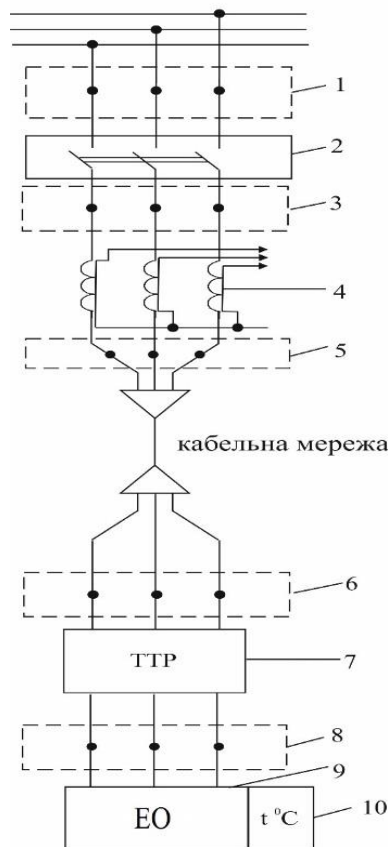


Рис. 1 – Схема електрична принципова електроживлення ЕО

Перший рівень захисту – це діагностика стану мережі живлення. Перший рівень включає:

- початковий і подальший безперервний моніторинг рівнів лінійних напруг і швидкості зміни фронту першої гармонійної складової напруги живлення;
- вимірювані параметри – трилінійні вимірювані напруги;
- рівні, відхилення та несиметрії напруги, швидкісні зміни фронту синусоїди першої гармонійної складової напруги – контрольовані параметри;
- аварійні режими мережі: неповнофазний (одно-, двох- і трьохфазний) режим зниження напруги до величини 0,6 від номінального значення; перевищення напруги номінального значення; провали напруги, несанкціоноване відключення напруги живлення.

Функції діагностики і захисту на першому рівні:

- початкове включення: виявлення неповнофазного режиму, сигналізація про нього і захист ЕО від включення в мережу;
- в режимі роботи ЕО: виявлення неповнофазного режиму і визначення його виду; визначення швидкості наростання напруги фронту синусоїди першої гармонійної складової; діагностування провалу в трьохлінійних напругах. При виявленні неповнофазного режиму слід сигналізувати про нього та про безаварійне відключення ЕО від мережі. При швидкості наростання фронту напруги менше 0,67 В/с, діагностується провал напруги, контрольований протягом 10 мс, після чого слід сигналізувати про нього і безаварійне відключення ЕО від мережі.

Обов'язковою умовою для першого рівня захисту є виконання своїх функцій п'ятим рівнем захисту, тобто, перевірки наявності блокування від підключення ЕО до мережі живлення.

Другий рівень – це діагностика причин обриву струмоведучих ліній, що виконується за умови проходження діагностичною системою управління і захисту ЕО першого рівня і включення ЕО в прогриваючий режим.

Другий рівень включає:

- проведення первинного і подальшого безперервного моніторингу рівнів фазних струмів;
- вимірювання фазного струму – вимірювані параметри;
- значення струму в лініях – контрольовані параметри;
- обриви струмоведучої лінії – аварійні режими;
- діагностування стану струмових ланцюгів та режимів мережі живлення, що проводиться при виконанні умов:

при виконанні умов:

а) обрив струмоведучих ліній – при наявності трьох лінійних напруг і відсутності одного з лінійних струмів включається сигналізація і безаварійне відключення ЕО від мережі;

в) неповнофазний режим мережі живлення – при відсутності однієї з лінійних напруг і відсутності одного з лінійних струмів включається сигналізація і безаварійне відключення ЕО від мережі.

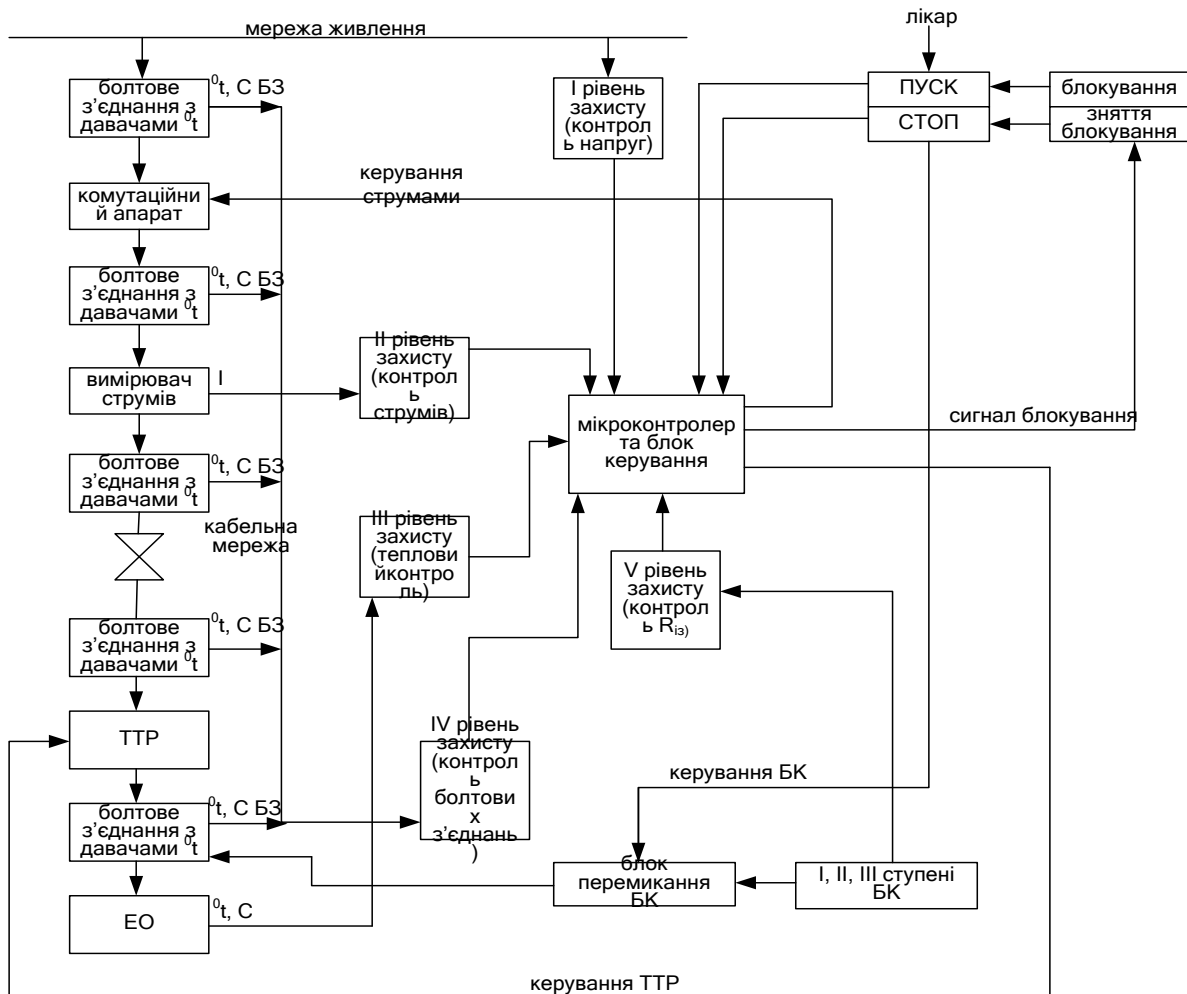


Рис. 2 – Структурна схема проходження сигналів і взаємозв'язок рівнів захистів батареївневої системи діагностування та захисту ЕО

Третій рівень захисту – це температурний захист ЕО та діагностика причин виникнення теплових перевантажень. Третій рівень включає:

- безперервний моніторинг температурних показників датчиків температур, розташованих на поверхні ізоляції струмоведучих елементів ЕО;
- два значення температури теплових датчиків – вимірювані параметри;
- температурні показники датчиків і наявність датчиків різниці температур – контрольовані параметри;
- аварійні режими: температурне перевантаження ЕО, пов'язане з перевищенням сили

струму номінального значення; несиметричний режим напруг мережі; локальне запилення ізоляції; механічні поломки ЕО.

Функції діагностики та захисту третього рівня:

- забезпечення в робочому режимі своєчасної сигналізації щодо виникнення температурного перевантаження; діагностування причини цього перевантаження та своєчасне інформування лікаря про виникнення аварійної ситуації, прийняття рішення про подальше проведення обстеження хворого.

Обов'язковою умовою для виконання функцій захисту третього рівня є виконання функцій захистів першого і другого рівнів.

Четвертий рівень захисту – це виявлення початкового моменту ослаблення струмоведучого болтового з'єднання і прогнозування часу розвитку аварійної ситуації.

Четвертий рівень захисту включає:

- безперервний моніторинг температурних показників датчиків температур, жорстко закріплених на болтових з'єднаннях; температури навколишнього повітря; сили струму, що протікає в болтових з'єднаннях;

– температурні показники теплових датчиків; струм в струмоведучих лініях – вимірювані параметри;

- температурні показники датчиків температури навколишнього повітря; фазні струми, що протікають в болтовому з'єднанні – контрольовані параметри;

- температура болтового з'єднання, що відповідає значенню струму, що пропорційна температурі навколишнього повітря – розрахункові параметри;

– момент ослаблення болтового з'єднання; перевищення температури болтового з'єднання заданого значення – аварійні режими.

Функції діагностики і захисту четвертого рівня:

- забезпечення в робочому режимі своєчасної сигналізації про виникнення ослаблення контакту струмопровідного болтового з'єднання; визначення часу протікання аварійного процесу; своєчасне інформування лікаря, для прийняття ним рішення. Обов'язкова умова для виконання функцій захисту четвертого рівня – виконання функцій захистів першого і другого рівнів:

- контроль величини опору ізоляції та діагностика причин її зниження; захист ізоляції від зволоження; продовження терміну її експлуатації та забезпечення надійного включення ЕО в мережу. Виконання функцій захисту п'ятого рівня можливо при плановому відключенні ЕО від мережі.

П'ятий рівень включає:

- безперервний моніторинг величини опору датчика поверхневого стану і опору ізоляції при відключенні ЕО в робочому режимі;

- значення опору датчика поверхневого стану і значення величини об'ємного опору ізоляції – вимірювані параметри;

- швидкісні зміни опору датчика поверхневого стану і швидкісні зміни напруги на клеммах БК при її розряді – розрахункові параметри;

- значення опору датчика поверхневого стану і швидкості зниження напруги на БК при її розряді – контрольовані параметри;

- значення опору ізоляції нижче допустимої величин дорівнює 0,5 МОм – аварійні режими.

Функції діагностики і захисту п'ятого рівня:

- забезпечення надійного включення ЕО в мережу; своєчасна сигналізація про зниження опору ізоляції до значення 1 МОм;

- захист ЕО від несанкціонованого підключення до мережі, при опорі ізоляції дорівнює або менше величини 0,5 МОм. Своєчасне інформування лікаря для прийняття ним рішення.

Виконання функцій п'ятого рівня захисту є визначальною умовою виконання захистів першого рівня.

Висновки

1. Відомі пристрої діагностики та захисту ЕО не дозволяють в повному обсязі захистити медичне ЕО при зміні режимних параметрів в мережі живлення.

2. Комплексний підхід до проблеми підвищення надійності роботи ЕО, як до єдиної сис-

теми «ЕО + мережа живлення», дозволяє підвищити довговічність ЕО і забезпечити необхідну безпеку при обстеженні хворого.

Перелік використаних джерел:

1. Васюченко И.В. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики / И.В. Васюченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 5. – С 28-34.
2. ГОСТ 50571.28-2006 (МЭК 60364-7-710-2002). Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений. – Введ. 2008-01-01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 16 с.
3. Пат. 2456731 Россия, МПК Н 02 Н 5/04. Способ защиты электроустановок от перегрева / Ф.Ф. Пашенко, В.В. Торшин, Л.Е. Круковский. – № 2011123076/07; заявл. 08.06.11; опубл. 20.07.12, Бюл. № 20. – 8 с.
4. Пат. 2461107 Россия, МПК Н 02 Н 3/00. Устройство управления и защиты электрооборудования / Ю.В. Филатов, Н.М. Басов, В.С. Дзюбан, В.В. Кардаш. – № 2010144552/07; заявл. 29.10.10; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25. – 6 с.
5. Пат. 107898 Україна, МПК Н 02 Н 5/04, Н 02 К 15/12, Н 02 Н 5/10, G 01 К 13/08. Спосіб контролю і теплового захисту обмоток електричних машин, які працюють у запиленому середовищі / В.Є. Кривоносів, І.В. Жежеленко, О.В. Московець, С.В. Василенко. – № а201401923; заявл. 26.02.14; опубл. 25.02.15, Бюл. № 4. – 7 с.
6. Пат. 2263382 Россия, МПК Н 02 Н 3/38, Н 02 Н 7/00. Способ защиты потребителей энергии сети переменного тока от аварийных режимов работы и устройство для его осуществления / С.В. Кожельский, А.Л. Крушев, В.Т. Крушев. – № 2003124042/09; заявл. 31.07.03; опубл. 27.10.05, Бюл. № 30. – 11 с.

References:

1. Vasiuchenko I.V. Povysheniia nadezhnosti raboty elektrooborudovaniia putem primeneniia metodov diagnostiki [Improving the reliability of electrical equipment by applying diagnostic methods]. *Energosberezhenie. Energetika. Energoaudit – Energy saving. Power engineering. Energy audit*, 2014, № 5, pp. 27-34. (Rus.)
2. *GOST 50571.28-2006 (MEK 60364-7-710-2002). Trebovaniia k spetsial'nyim elektroustanovkam. Elektroustanovki meditsinskikh pomeshchenii* [State Standart 50571.28-2006 (MEK 60364-7-710-2002). Requirements for special electrical installations. Electrical installations of medical premises]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 16 p. (Rus.)
3. Pashchenko F.F., Torshin V.V., Krukovskii L.E. *Sposob zashchity elektroustanovok ot peregreva* [Method of protecting electrical installations from overheating]. Patent RU, no. 2456731, 2012. (Rus.)
4. Filatov Iu.V., Basov N.M., Dziuban V.S., Kardash V.V. *Ustroistvo upravleniia i zashchity elektrooborudovaniia* [Control device and protection of electrical equipment]. Patent RU, no. 2461107, 2012. (Rus.)
5. Krivonosov V.E., Zhezhelenko I.V., Moskovets' O.V., Vasilenko S.V. *Sposib kontroliu i teplovogo zakhistu obmotok elektrichnikh mashin, iaki pratsiuiut' u zapilenomu seredovishchi* [Method of control and thermal protection of windings of electric machines working in dusty environments]. Patent UA, no. 107898, 2015. (Ukr.)
6. Kozhel'skii S.V., Krushev A.L., Krushev V.T. *Sposob zashchity potrebitelei energii seti peremennogo toka ot avariinykh rezhimov raboty i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia* [The way to protect consumers of AC power from emergency operation and device for its implementation]. Patent RU, no. 2263382, 2005. (Rus.)

Рецензент: О.Ю. Азархов
д-р мед. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 03.09.2018