

- praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 190–194. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
4. Polikarpov Yu. V. Kinematika dvizheniya mnogokolesnykh hodovykh telezhek gruzopod'emnykh kranov, *Pod'emno-transportnaya tekhnika*, 2005, No. 1, pp. 88–95.
 5. Spitsyina D. N. Issledovanie bokovykh sil, deystvuyuschikh na mnogokolesnyye mostovyye krany, *Vestnik mashinostroeniya*, 2003, No. 3, pp. 3–9.
 6. Lobov N. A. Dinamika gruzopod'emnykh kranov. Moscow, Mashinostroenie, 1987, 160 p.
 7. Gerasimyak R. P., Leshev V. A. Analiz i sintez kranovykh elektromekhanicheskikh sistem. Odessa, SMIL, 2008, 198 p.
 8. Gerasimyak R. P. Dinamika asinhronnykh elektroprivodov kranovykh mekhanizmov. Moscow, Energoatomizdat, 1986, 168 p.
 9. Gerasimyak R. P. Optimalnyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya elektroprivodov dlya studentov spetsialnosti 7.092203. Odessa, OGPU, 1998, 72 p.
 10. Gerasimyak R. P. Tiristornyiy elektroprivod dlya kranov. Moscow, Energiya, 1978, 112 p.
 11. Gerasimyak R. P., Naydenko E. V. Upravlenie asinhronnyim elektroprivodom mekhanizmov povorota, obespechivayushchie snizhenie dinamicheskikh nagruzok, *Vestnik Natsionalno tekhnicheskogo universiteta «Harkovskiy politekhnicheskii institut» : sb. nauchn. trudov. Tematicheskii vyipusk : Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : teoriya i praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 111–112. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
 12. Gerasimyak R. P., Nguen V. H., Leshev V. A. Elektromekhanicheskaya sistema pod'emnykh mekhanizmov s zamknutyim asinhronnyim elektroprivodom, *Vestnik Natsionalno tekhnicheskogo universiteta «Harkovskiy politekhnicheskii institut» : sb. nauchn. trudov. Tematicheskii vyipusk : Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : teoriya i praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 326–328. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
 13. Gerasimyak R. P., Parail V. A. Elektroprivody kranovykh mekhanizmov (sistemy elektroprivoda i metody rascheta). Moscow, Energiya, 1970, 136 p.
 14. Lobov N. A. Razrabotka osnov dinamiki peredvizheniya kranov po relsovomu puti i metodov povyisheniya resursa raboty kranovoy sistemy [Elektronnyy resurs]: dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.05.04, Moscow, RGB, 2007, 294 p. (Iz fondov Rossiyskoy Gosudarstvennoy Biblioteki).
 15. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Utochnennyye matematicheskaya i imitatsionnaya modeli elektroprivoda peremescheniya mostovogo krana, *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, 2007, No. 2, pp. 39–51.
 16. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Matematicheskaya model vzaimosvyazannogo elektroprivoda peremescheniya mostovogo krana s obschey sistemoy upravleniya, *VIsnik Kremenchut'skogo derzhavnogo politekhnicheskogo un-ta Im. M. Ostrogradskogo*. Kremenchuk, 2008, Vip. 4 (51), Ch.1, pp. 145–149.
 17. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Upravlenie vzaimosvyazannyim asinhronnyim elektroprivodom mostovogo krana dlya peremescheniya mosta bez vzaimodeystviya rebord koles s relsami, *Radioelektronika, Informatika, Upravlinnya*, 2009, No. 2, pp. 144–151.

УДК 621.31

Бондаренко Є. А.

Канд. техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, Україна, E-mail: evgeniy.bon@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ РІВНІВ НАПРУГ ДОТИКУ ТА СТРУМІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Запропоновано концепцію електробезпеки та методику розрахунку гранично допустимих величин напруг дотику та струмів з урахуванням енергії, яка поглинається тілом людини. Наведено окремий приклад розрахунку граничних напруг дотику та струмів через тіло людини при роботі на конкретній установці з високим вихідним опором.

Ключові слова: електрична енергія, електробезпека, граничні значення струмів, граничні значення напруг дотику, електроустановка, ризик.

ВСТУП

За оцінками Міжнародного бюро праці щорічно нещасні випадки на виробництві і професійні захворювання забирають життя приблизно 2 млн. чоловік і обходять-

ся глобальній економіці в 1,25 трлн. доларів США. Статистичні дані Міжнародної Організації Праці (МОП) свідчать, що 4% світового валового продукту недоодржують внаслідок нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [1].

Електрогравізм як проблема виник в останній чверті XIX століття у зв'язку з широким впровадженням електроустановок змінного струму промислової частоти і відрізняється від інших видів травм рядом особливостей [2]:

- частка електрогравізм у загальному виробничому травматизмі відносно мала – 1...2 %, але у травматизмі зі смертельними наслідками досягає 15 % і більше;

- людина не може виявити наявності напруги дистанційно без спеціальних пристроїв;

- людина може отримати електрогравізм без безпосереднього контакту зі струмопровідними частинами (попадання під напругу кроку, ураження через електричну дугу);

- електричний струм діє не тільки в місці контакту, а й на весь організм у цілому і спричиняє різні види травм: електричний удар, опік, електричний знак, металізацію шкіри, електроофтальмію, механічні пошкодження;

- різке погіршення стану здоров'я потерпілого від електричного удару може спостерігатися через декілька годин, а іноді днів після нещасного випадку;

- на сьогоднішній день вважають, що немає абсолютно безпечної напруги. Є випадки смертельного ураження від напруг менше 12 В [3], з іншого боку, іноді потерпілий виживає після дії напруги більше 1 кВ.

Дослідження в області електробезпеки, проведені в нашій країні і за кордоном, показують, що рівень електрогравізму як в промисловості, так і в побуті є недопустимо високим. При цьому щорічна кількість побутових електрогравізм значно перевищує виробничі і впродовж декількох останніх десятиліть спостерігається їх зростання [4, 5, 6]. Щорічно від ураження електричним струмом в Україні гинуть біля 1500 осіб, приблизно в 5–6 разів більше осіб одержують електрогравізм, що приблизно в шість разів перевищує показники в технологічно розвинених країнах [5, 6].

За кожною електрогравізмою, і особливо важкою, стоїть трагедія окремої людини, сім'ї, суспільства, значні матеріальні збитки і втрата трудових ресурсів, несприятливі для суспільства морально-етичні і соціально-політичні наслідки.

Незмінний протягом багатьох років рівень електрогравізму свідчить про необхідність розробки нової концепції підвищення рівня електробезпеки з врахуванням сучасних знань.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонувати нову концепцію зменшення ризику електрогравізму та методику визначення гранично допустимих величин напруг дотику і струмів з урахуванням енергії, яка поглинається тілом людини, навести приклад її використання для конкретної електроустановки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз великої кількості даних по електрогравізму [3, 4] показав, що експлуатація електроустановок потенційно небезпечна, оскільки пов'язана з різними про-

цесами, а останні – з використанням (виробленням, транспортуванням, зберіганням і перетворенням) електричної енергії, яка накопичується в устаткуванні, тілі людини й навколишньому середовищі. Неконтрольований вихід енергії у певних умовах супроводжується небажаними подіями – наслідками (електротравми, матеріальні збитки, шкода навколишньому середовищу та ін.). Закономірності в появі небажаних випадків характеризуються такими основними ознаками:

- а) електрогравізм можна інтерпретувати потоками випадкових подій з експоненціальним розподілом часу між їх появою;

- б) виникнення кожного конкретного випадку травми є, як правило, наслідком не окремо взятої причини, а ланцюга відповідних передумов;

- в) ініціаторами і ланками такого ланцюга служать помилки людей, відмови техніки і несприятливі для людей або техніки дії зовнішнього середовища.

Типовими причинами електрогравізм виявилася така послідовність подій-передумов: помилка людини, відмова електроустаткування і несприятлива для них зовнішня дія; поява небезпечного чинника (електричної енергії) в несподіваному місці і невчасно; відсутність або несправність передбачених на ці випадки засобів захисту і неточні дії людини в такій ситуації; поширення і дія небезпечних чинників на людину.

Виявлені вище фактори та передумови появи електрогравізм дозволяють сформулювати енергоентропійну концепцію електробезпеки. Суть якої, відповідно до [7], полягає в «об'єктивному прагненні» енергетичних потенціалів до вирівнювання – з однієї сторони і протидії різних захисних механізмів їх можливим руйнівним наслідкам – з іншої. Справа в тому, що ентропія будь-якої системи обернено пропорційна величині накопиченої в ній енергії, тобто тій, яка здатна до подальших перетворень. Статистична фізика розглядає ентропію, як міру невизначеності при перебуванні системи в даному стані (принцип Больцмана), що відображає тенденцію системи, яка складається з дуже великого числа хаотично рухомих часток, до переходу в стан з максимальною ентропією, яка характеризується відсутністю енергетичних потенціалів – до такого стану рівноваги, який відповідає найбільшій мірі дезорганізації, хаосу і безладу. Тому, будь-які спроби вивести систему з таких станів вимагають подолання енергетичних бар'єрів і розглядаються як ті, що приводять її в нестійкий, а отже – потенційно небезпечний стан.

Відповідно до [8], енергоентропійна концепція електробезпеки може бути подана такими твердженнями:

- функціонування системи «електроустановка – людина – середовище» не забезпечує абсолютну безпеку, так як потенційна небезпека ураження людини електричною енергією має прихований, неявний характер при певних умовах;

- для забезпечення прийнятого рівня безпечних умов взаємодії людини з електроустановками в певному сере-

довищі раптовий, несанкціонований вихід електричної енергії з електротехнічних систем на людину не повинен перевищувати граничних значень;

– граничні або гранично допустимі значення електричної енергії, що поглинається тілом людини, повинні встановлюватися з урахуванням параметрів конкретної людини, граничних значень напруги дотику, струму, що протікає через тіло людини, роду, частоти, та часу дії струму;

– дія електричної енергії на людину повинна бути обмежена в просторі та часі;

– підвищити рівень електробезпеки людини, яка взаємодіє з електроустановками можна шляхом усунення ланцюга передумов появи електротравм: помилкові і несанкціоновані дії персоналу; погана професійна підготовка; несправності і відмови електроустаткування (низька надійність); несподівані або такі, що перевищують допустимі межі зовнішні дії (агресивний вплив середовища; знос, старіння устаткування) і т. ін.

Величину енергії промислової частоти, яка поглинається тілом людини, відповідно до [10, 11], можна отримати з виразу

$$W_{h,доп.} = U_{доп.} \cdot I_{h,доп.} \cdot t \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

де $U_{доп.}$ – дійсне граничне значення напруги дотику, В; $I_{h,доп.}$ – допустима дійсна величина струму, що проходить через тіло людини, А; φ – кут зсуву фаз між ними; t – тривалість дії електричного струму на людину, сек.

Числову величину для $W_{h,доп.}$ можна визначити з умови, що за граничні значення напруги дотику і струму беруться значення, наведені в таблиці для нормального (не аварійного) режиму роботи електроустановок при тривалості дії 10 хвилин, виходячи з реакції відчуття. З урахуванням цієї умови

$$W_{h,доп.} = 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot \cos \varphi = 0,36 \cdot \cos \varphi, \text{ Дж.} \quad (2)$$

Гранично допустимі напруга дотику і струм, що протікають через тіло людини при змінному струмі частотою 50 Гц при нормальному (не аварійному) режимі електроустановки відповідно до ГОСТ 12.1.038-82 ССПБ [9] становлять, відповідно, 2,0 В та 0,3 мА.

Електрична енергія розсіюється в масі тіла. Вираз (2) отриманий для допустимої енергії, яка поглинається тілом людини, середньостатистичних параметрів маса якої, відповідно [8], дорівнює 71,9 кг. В реальних умовах маса конкретної людини відрізняється від середніх величин, тому у вираз для допустимої енергії вводиться поправковий коефіцієнт $k = m_h / 71,9$

$$W_{h,доп.} = 0,36k \cdot \cos \varphi, \text{ Дж.} \quad (3)$$

Таким чином, для дотримання безпечних умов взаємодії людини з електроустановками в певному середовищі раптовий, несанкціонований вихід електричної енергії з технічних систем на людину W_h не повинен перевищувати допустимих значень:

$$W_h \leq W_{h,доп.}, \quad (4)$$

де допустиме значення енергії $W_{h,доп.}$, яка поглинається тілом людини, для змінного струму промислової частоти визначаються за виразом (3).

Підставивши вираз (3) в (1), отримаємо залежність гранично допустимого струму промислової частоти і часу його дії від напруги дотику.

$$I_{h,доп.} = \frac{0,36k}{U_{доп.} \cdot t}. \quad (6)$$

Приклад практичної реалізації методики розрахунку гранично допустимих величин напруг дотику і струмів з урахуванням енергії, яка поглинається тілом людини, можна навести для електроустановки яка наведена в [12]. На рисунку показана принципова електрична схема високовольтної установки для експериментального визначення напруженості електричного поля.

Основними елементами установки є плоский повітряний конденсатор ПК та стенд, який дозволяє отримати змінну напругу частотою 50 Гц у діапазоні від нуля до 5 кВ.

Плоский повітряний конденсатор уявляє собою збірну конструкцію, яка складається з двох алюмінієвих пластин, розміром $40 \times 40 \times 0,5$ см і які з'єднані гетинаксовими стійками довжиною 0,5 м. На нижній пластині є отвори для установки плоских виносних датчиків вимірювача напруженості електричного поля.

Стенд складається з високовольтного трансформатора (T_p) ТГМ-1020 УХЛП 220/10000 В, регулятора напруги (ЛАТР), вольтметра (V) на 220 В та високовольтного вольтметра (кВ).

Для забезпечення електробезпеки високовольтної установки верхня пластина повітряного конденсатора приєднується до джерела високої напруги через високий вихідний опір R_b , який розміщений в середині стенда. Покажемо, як враховується вихідний опір напруги живлення R_b у розрахунках струму, напруги дотику та енергії поглинання.

Числову величину для $I_{h,доп.}$ можна визначити з умови, що до пластин повітряного конденсатора доторкається людина середньої маси ($k=1$) при максимальній напрузі $U_{доп.} = 5 \cdot 10^3$ В та часі дії електричного струму $t = 1$ с. З урахуванням цієї умови, підставивши ці значення в вираз (6), отримаємо, що значення гранично допустимого струму $I_{h,доп.}$ для людини приблизно не повинно перевищувати 0,1 мА.

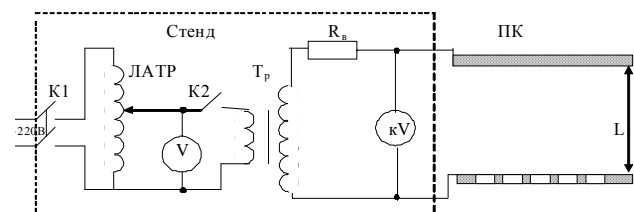


Рис. 1. Схема установки для визначення напруженості електричного поля

Для забезпечення цієї умови вихідний опір напруги живлення R_v , відповідно закону Ома, повинен бути не менше 50 МОм.

ВИСНОВКИ

Запропонована концепція електробезпеки та методика визначення допустимих величин напруг дотику та струмів з урахуванням енергії, яка поглинається тілом людини, дозволяє зменшити ризик електрогравітазму, про що свідчить наведений приклад роботи людини на конкретній високовольтній установці з високим вихідним опором.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі : загальні вимоги: навч. посіб. / Зеркалов Д. В. – К. : Основа, 2011. – 551 с.
2. Бондаренко Є. А. Охорона праці : навч. посіб. / Бондаренко Є. А. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 92 с.
3. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. / Манойлов В. Е. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
4. Гордон Г. Ю. Электротравматизм и его предупреждение / Г. Ю. Гордон, Л. И. Вайнштейн – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
5. Маліновський А. А. Теоретичні передумови підвищення рівня електробезпеки / Маліновський А. А. // Гірничі електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. НГУ. – 2004. – № 72. – С. 51–56
6. Основы охорони праці : підруч. / Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Зацарний В. В. [та ін.] ; за ред. К. Ткачука і М. Халімовського. – К. : Основа, 2006 – 448 с.
7. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Белов П. Г. – М. : Издательский центр «Академия». 2003. – 512 с.
8. Бондаренко Є. А. Енергоентропійна концепція електробезпеки / Бондаренко Є. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 136–138.
9. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: ГОСТ 12.1. 038–82 ССБТ. [Введен 1983–07–01]. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с. – (Ограничение срока действия снято по протоколу № 2-92 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 2-93). Переиздание (июль 2001 г.) с изменением № 1, утвержденным в декабре 1987 г. (ИУС 4-88)).
10. Бондаренко Є. А. Гранично допустимі значення напруг дотику та струмів промислової частоти / Бондаренко Є. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2. – С. 31–34.
11. Bondarenko E. A. Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents / Bondarenko E. A. // European Science and Technology : materials of the 2dn International scientific conference May 9th–10th, Vol. II. – Wiesbaden, Germany, «Bildungszentrum Rodnik e. V.», 2012 – P. 189–193.
12. Бондаренко Є. А. Лабораторний практикум з дисципліни «Основы охорони праці» : навчальний посібник / Є. А. Бондаренко, В. П. Якубович. – Вінниця : ВДТУ, 2000. – 95 с.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2013.

Після доробки 15.12.2012.

Бондаренко Е. А.

Канд. техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, Україна

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ТОКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Предложена концепция электробезопасности и методика определения предельно допустимых величин напряжений прикосновения и токов с учетом энергии, которая поглощается телом человека. Приведен отдельный пример расчета граничных напряжений прикосновения и токов через тело человека при работе на конкретной электроустановке с высоким выходным сопротивлением.

Ключевые слова: *электрическая энергия, электробезопасность, допустимые значения токов, допустимые значения напряжений прикосновения, электроустановка, нормирование, риск.*

Bondarenko E. A.

Ph.D., associate professor, Vinnitsa National Technical University, Ukraine

APPLICATION OF TECHNIQUE OF MAXIMUM PERMISSIBLE LEVELS OF CONTACT VOLTAGE AND CURRENTS FOR ELECTRIC SAFETY

In article the problem of an electro traumatism and the new approach for its decision is considered. It is noticed that the typical reasons of electro traumas are events-preconditions: an error of the person, refusal of an electric equipment and adverse external action on them; occurrence of the dangerous factor (electric energy) in an unexpected place; absence or malfunction of the protection frames provided on these cases and inexact actions of the person in such situation; distribution and action of electric energy on the person. Therefore for maintenance of the accepted level of safe conditions of the person interaction with electro installations in the certain environment the new concept of electro traumatism risk reduction is offered. It is noticed that for maintenance of the accepted level of safe conditions of person interaction with electro installations in the certain environment the sudden, unapproved exit of electric energy from electro technical systems on the person should not exceed its limiting values; maximum permissible values of electric energy absorbed by a body of the person should be established taking into consideration parameters of the concrete person, limiting values of touch pressure, a current which proceeds through a body of the person, sorts, frequencies, and time of action of a current. The technique of definition of maximum permissible sizes of pressure of a touch and currents taking into account energy absorbed by the body of the person is offered. It is proved that admissible value for energy of an alternating current of industrial frequency which can be absorbed by body of the person, should not exceed value of 0,36 J. Dependence between

size of a maximum permissible current of industrial frequency and times of its action, size of pressure of a touch, admissible energy which is absorbed by a body of the person, and parameters of a body of the person is received. The example of practical realization of a design procedure of maximum permissible sizes of pressure of a touch and currents taking into account energy absorbed by a body of the person, for concrete installation with high initial resistance is given. Application of the offered concept and a technique will allow reducing risk of an electro traumatism at the power branch enterprises.

Keywords: electric energy, electric safety, maximum permissible levels of pick-up of currents, maximum permissible levels of pick-up voltages, electro installation, standardization, risk.

REFERENCES

- Zerkalov D. V. Ohorona pratsi v haluzi: Zahalni vymogy: navchalnyi posibnyk [Labour Protection in a Branch], Kyiv, Osnova, Ukraine. (2011), 551 p.
- Bondarenko E. A. Ohorony pratsi: navchalnyi posibnyk, VSTU. Vinnitsa, Ukraine, 1998, 92 p.
- Manoylov B. E. Osnovy elektrobezopasnosti [Basic principles of electro security], Energoatomizdat. Leningrad, Russia, 1991, 480 p.
- Gordon G. U., Weinstein L. I. Electrotravmatizm i ego predupregdenie, Energoatomizdat. Moscow, Russia, 1986, 256 p.
- Malinovskij A. A. Theoretical conditions of increase of level of electric safety, *Girnichia elektromexanika ta avtomatika*, 2004, Vol. 72, pp. 51–56.
- Tkachuk K. N., Khalimovski M. O., Zatsarny V.V. Osnovy ohorony pratsi [Principles of labour Protection]. Kyiv, Osona, Ukraine, 2006, 448 p.
- Belov P. G. Sistemniy analiz s modelirovanie opasnix protsesov v tehnsfere: uchebnoe posobie. Moscow, Akademiya, Russia, 2003, 512 p.
- Bondarenko E. A. The energoentropi concept of an electro security, *Visnyk Vinnitskoho politechnichnoho institutu*, 2012, Vol. 4, pp. 136–138.
- Occupational safety standards system. Electric safety. Maximum permissible levels of pick-up voltages and currents (1985), GOST 12.1.038-82 SSBT. [Entered 1983-07-01], Moscow, Publishing house of standards.
- Bondarenko E. A. Permissible values of voltage touch and currents of industrial Frequency, *Visnyk Vinnitskoho politechnichnoho instytutu*, 2011, Vol. 2, pp. 31–34.
- Bondarenko, E.A. (2012), Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents, *European Science and Technology: materials of the 2dn International scientific conference*, Wiesbaden, Germany, May 9th-10th, 2012, Vol. II, pp. 189–193.
- Bondarenko E. A., Yakubovich V. P. *Laborotorniy praktikum z disciplini «Osnovy ohorony pratsi»: navchalnyi posibnyk*, Vinnitsa, VSTU, Ukraine, 2000, 95 p.

УДК 621.313.3

Коцур М. И.

Канд. техн. наук, Запорожский национальный технический университет, Украина, E-mail: kotsur_m@ukr.net

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Выполнена оценка теплового состояния и ресурса изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором в повторно-кратковременном режиме S3 при модифицированной системе импульсного регулирования в зависимости от продолжительности включения и длительности цикла работы. Определена допустимая токовая нагрузка, обеспечивающая номинальный тепловой режим работы двигателя.

Ключевые слова: регулирование, асинхронный двигатель, тепловое состояние, изоляция, срок службы.

Для целого ряда промышленных механизмов, в частности кранового и металлургического оборудования, в процессе выполнения производственного цикла требуется осуществление плавного пуска и торможения, а также обеспечение стабильной работы механизма на пониженных скоростях. В этих механизмах используется асинхронный электропривод на базе асинхронного двигателя (АД) с фазным ротором металлургических и крановых серий, работающего в интенсивных повторно-кратковременных режимах (S3 и др.). Эти режимы порождают многообразие тепловых состояний АД, которые определяются различными характеристиками (продолжительностью включения, длительностью цикла и пр.) [1].

Для регулирования частоты вращения АД в этих режимах работы применяется классическая система импульсного регулирования (ИР), которая сочетает в себе простоту схемного решения, хорошие регулировочные свойства и имеет относительно низкую стоимость [2].

В работах [3, 4, 5] предложена модифицированная система импульсного регулирования ИР(м), которая объединяет в себе положительные свойства классической системы ИР и асинхронного вентильного каскада (АВК). Отличительной особенностью системы ИР(м) является наличие импульсного регулятора в цепи выпрямленного тока ротора, выполненного в виде преобразователя повышающего типа и инвертора, который в