

D. Yusupov, SRF
LLC "Scientific and Technical Center" JSC "Uzbekenergo"
Tashkent, Republic of Uzbekistan

INFLUENCE OF VARIOUS IMPURITIES ON ELECTRIC STRENGTH OF TRANSFORMER OIL AND METHOD OF REMOVAL

The electrical strength of transformer oil is the most basic performance indicator, which determines the service life of liquid insulation. In the process of operation of transformer oil, its electrical strength is affected by various impurities. In this regard, in this paper, a review of the influencing impurities on this basic oil performance indicator has been made. The results of purification of waste transformer oils with the purpose of increasing their electrical strength are given.

A ceramic membrane filter designed for cleaning spent transformer oil from mechanical impurities was developed for carrying out experimental studies. Purification of waste transformer oils of soluble and moistened impurities is applied by the adsorption method. Silicagel and zeolite are used as adsorbents. Purification of waste transformer oils using a ceramic membrane filter and adsorbents was carried out according to the developed scheme by the author. The final cleaning of each oil sample with a ceramic membrane filter allowed to increase the breakdown voltage up to 60 kV.

Key words: used transformer oil, mechanical impurities, soluble impurities, wet impurities, electrical strength, breakdown voltage, ceramic filter, adsorbents.

Надійшла 14.06.2018
Received 14.06.2018

УДК 621.3:614.8

Є.А. Бондаренко, д-р техн. наук, доц
Т.В. Андрієнко, студент;
Д.С. Кушнір, студент
Вінницький національний технічний університет

ОЦІНЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ

Розглянуто найбільш розповсюджені підходи та методи оцінювання ризику. Розроблено класифікацію методів кількісного оцінювання ризику електротравм. Це дозволило проводити теоретичні дослідження причинно-наслідкових зв'язків щодо ризику електротравм та професійних захворювань для персоналу, який обслуговує електроустановки надвисоких класів напруги від дії електричної енергії та запропонувати метод для його оцінювання. Запропонований матричний метод оцінювання ризику, на відміну від відомих, виділяє 36 різновидів ризику у вигляді значень для бінарних груп «імовірність нещасного випадку – важкість травматичної події від дії електричної енергії». Якісні та кількісні показники матриці оцінки ризику дозволяють робити об'єктивні висновки щодо залежності небезпеки впливу електричного поля промислової частоти на персонал і трансформувати отримані оцінки в адекватні і адресні профілактичні заходи для технологічних робіт в електроустановках 330, 500, 750 кВ.

Ключові слова: електрична станція, енергія, електричне поле, менеджмент, ризик, електробезпека.

© Є.А. Бондаренко, Т.В. Андрієнко, Д.С. Кушнір, 2018

Вступ. Сьогодні актуальним є: приведення нормативно-правової бази України в галузі електробезпеки у відповідність до сучасних вимог законодавства Європейського Союзу (ЄС) з урахуванням оцінювання професійних ризиків електротравмування й захисту здоров'я працівників в умовах виробничого середовища. Оцінювання вказаного ризику передбачають стандарти OHSAS 18001:2007, ISO 50001:2011, основна директива Європейського Союзу 89/391/ЄЕС та підпорядковані їй спеціальні директиви з безпеки праці на робочих місцях (89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, 90/269/ЄЕС та ін.).

Професійний ризик визначається як величина ймовірності порушення (ушкодження) здоров'я з урахуванням тяжкості наслідків у результаті несприятливого впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу. На даний час, оцінювання професійного ризику особливо важливе значення має для електротехнічного персоналу, що обслуговує електричні станції та системи надвисоких класів напруги (НВН), тобто напругою 330, 500, 750 кВ. Це обумовлено по перше тим, що діяльність персоналу в електроустановках НВН пов'язана з деяким початковим ризиком електротравмування та професійного захворювання від дії електромагнітного поля промислової частоти (ЕП ПЧ). По друге – зараз на електричних станціях, підстанціях, на підприємствах електричних мереж НВН в експлуатації знаходиться велика кількість силового та комутаційного обладнання, яке відпрацювало чимало років і потребує реконструкції та збільшення кількості проведення ремонтних робіт, що також призводить до підвищення ризику електротравматизму [1]. За стратегію удосконалення системи електробезпеки електроустановок НВН доцільно прийняти метод мінімізації ризику електротравм, відповідно до якого «Будь-який ризик повинен бути знижений настільки, наскільки це є практично розумно досяжним».

Відомі методи оцінювання рівня електробезпеки [2–4] базуються на порівнянні вимірних розрахункових значень напруженості електромагнітного поля, напруги дотику, струму, що проходить через тіло людини, та часу їх дії з нормованими параметрами або на методах аналізу статистичних даних електротравм без урахування ймовірнісної природи електротравматизму та можливості виникнення професійно обумовленого захворювання персоналу від дії електричної енергії.

Публікацій щодо оцінювання та аналізу ризику електротравматизму та професійного захворювання [4–7], відрізняються суперечністю факторів дії електрики, точністю методів оцінювання ризику, спірністю трактувань, визначень, не містять системних рекомендацій щодо рішення проблеми підвищення рівня електробезпеки для електротехнічного персоналу, що обслуговує електричні станції та системи надвисоких класів напруги.

Тому аналіз сучасних підходів та методів щодо оцінювання професійного ризику електротравматизму та професійного захворювання електротехнічного персоналу, що обслуговує електроустановки НВН, для його подальшої мінімізації, є актуальним, а реалізація цих методів є якісно новим етапом вдосконалення системи менеджменту електробезпеки в Україні.

Мета дослідження є аналіз сучасних підходів та методів щодо оцінювання професійного ризику електротравматизму та професійного захворювання електротехнічного персоналу, що обслуговує електроустановки НВН для його подальшої мінімізації.

Результати дослідження. У ході дослідження встановлено, що на сьогоднішній день існують чотири різних підходи до оцінювання ризику.

Перший – інженерний. Він опирається на статистику поломок і аварій, на ймовірнісний аналіз безпеки: побудова й розрахунок так званих дерев подій і дерев відмов – процес оснований на орієнтованих графах. За допомогою першого методу передбачають можливі наслідки від відмови техніки, а за допомогою другого методу («дерева подій»), навпаки, допомагають простежити причини, які здатні викликати якісь небажані явища. Коли дерева побудовані, розраховується ймовірність реалізації кожного зі сценаріїв, а потім – загальна ймовірність аварії на об'єкті.

Другий підхід – модельний – побудова моделей впливу шкідливих факторів на людину й навколишнє середовище. У багатьох видах життєдіяльності ризик взагалі можна порівняти не з можливими збитками, а з показниками, що визначають певний вид діяльності, наприклад, з величиною електричного струму, напруги, кількістю отриманого радіаційного опромінення, з характеристиками механічних коливань, масою хімічно небезпечних речовин, що потрапили в організм. Для цього випадку актуальним є принцип: чим ризикуємо, те і є оцінкою ризику (використовуються числові методи «доза – ефект»).

Перші два підходи основані на розрахунках, однак для таких розрахунків не завжди вистачає надійних вихідних даних. У цьому випадку прийнятний третій підхід – експертний: ймовірності різних подій, зв'язки між ними й наслідки аварій визначають не обчисленнями, а опитуванням досвідчених експертів. До робіт з експертного оцінювання залучають досвідчених спеціалістів з техніки безпеки, ергономіки, електробезпеки та виробничої санітарії, які випробовують технологічний процес, а також спеціалізовані науково-дослідні та проектні інститути.

Нарешті, у рамках четвертого підходу – соціологічного – досліджується відношення населення до різних видів ризику, наприклад, за допомогою соціологічних опитувань.

На основі аналізу сучасних підходів та методів щодо оцінювання професійного ризику електротравматизму авторами запропонована класифікація методів кількісного оцінювання системи електробезпеки, які можуть бути використані для розв'язання задач мінімізації ризику електротравматизму персоналу електричних станцій та систем. Дана класифікація подана на рис. 1 [8].



Рисунок 1 – Класифікація методів кількісного оцінювання ризику електротравм

Методи можуть застосовуватися окремо або доповнювати один одного, причому якісні методи можуть включати кількісні критерії ризику (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці «ймовірність – вага наслідків» шляхом ранжування небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику може включати всі зазначені методи.

На основі проведеної класифікації методів кількісного оцінювання ризику електробезпеки, гігієнічних норм умов праці та комбінованого методологічного підходу, який на відміну від відомих узгоджує системний, ризик-орієнтовний та енергетичний підходи з методами оцінювання ризику травмування авторами запропоновано матрицю оцінювання ризиків (MOP) електротравматизму на робочих місцях персоналу електричних станцій та систем (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця оцінювання ризиків на робочих місцях при визначенні професійного ризику електротравматизму персоналу електричних станцій та систем за [9]

0,7 – 1 (6)	C6	C12	B18	B24	B30	B36
0,3 – 0,7 (5)	H5	C10	C15	B20	B25	B30
0,05 – 0,3 (4)	H4	C8	C12	C16	B20	B24
10^{-3} – 0,05 (3)	H3	H6	C9	C12	C15	B18
10^{-6} – 10^{-3} (2)	H2	H4	H6	C8	C10	C12
0 – 10^{-6} (1)	H1	H2	H3	H4	H5	C6
Частота в рік	2 (1)	3.1 (2)	3.2 (3)	3.3 (4)	3.4 (5)	4 (6)
	Наслідки					

Запропонована МОР професійного захворювання персоналу електричних станцій та систем побудована на основі встановлених елементів ризику: шести рівнів ймовірності небезпечної події (частоти професійного або професійно обумовленого захворювання) та шести рівнів важкості наслідків дії ЕП ПЧ за гігієнічною класифікацією, матриця (6×6). У такій матриці виділено 36 різновидів ризику у вигляді значень ризику для бінарних груп «ймовірність нещасного випадку – важкість травматичної події від дії електричної енергії». Така інформація дала підставу для об'єктивного судження про міру загрози, що забезпечило більшої адресності профілактичних заходів з електробезпеки в електроустановках НВН. На основі МОР, обґрунтована необхідність прийняття рішення підвищення рівня електробезпеки при виконанні робіт на струмовідних частинах повітряних ліній 330–750 кВ.

Для обчислити значення ймовірності щодо загрози безпеки здоров'ю людини від дії електричної енергії, відповідно [10], авторами пропонується використовувати вираз пробіт-функції ризику електротравматизму R :

$$R = 2,5 + 0,7 \cdot \ln(W_{h.} / W_{h.don.}),$$

де $W_{h.}$ – дія електричної енергії з електроустановок на персонал, $W_{h.don.}$ – значення допустимої енергії для персоналу, який знаходиться в зоні дії ЕП ПЧ у Вт•год.

Запропоновані результати розрахунків ймовірності загрози здоров'ю працівника від дії ЕП ПЧ, тобто ступінь перевищення допустимого рівня електричної енергії (разів), наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Приклад оцінювання ймовірності реалізації загрози від дії електричної енергії з урахуванням гігієнічної класифікації праці та за запропонованим виразом пробіт-функції

Фактор виробничого середовища	Клас умов праці					
	Допустимий 2	Шкідливий 3				Небезпечний 4
		1 ступінь 3.1	2 ступінь 3.2	3 ступінь 3.3	4 ступінь 3.4	
	Клас умов праці за методикою, що пропонується					
Електрична енергія ПЧ (50 Гц)	≤ ГДР	1–3	3–5	5–10	10–40	>40
	Ймовірність реалізації загрози	0,0001-0,04	0,04-0,083	0,083-0,2	0,2-0,53	0,53-1

З табл. 2 видно, що величина ризику, яка визначається за пробіт-функцією, змінюється від 0 до 1. Зіставлення рівнів наслідків та ймовірностей з відомими з практики наслідками дозволяє запропонувати ймовірнісний опис класів (категорій) за професійно обумовленого ризику для здоров'я персоналу від дії електричної енергії: перший клас (умови праці оптимальні) – ризик відсутній; другий клас (умови праці допустимі) – припустимий ризик; третій клас (шкідливі умови праці) – ступені: 3.1 – дуже малий ризик; 3.2 – малий ризик; 3.3 – середній ризик; 3.4 – високий ризик; четвертий клас (умови праці небезпечні) – занадто високий ризик.

За значенням ризику професійного захворювання від дії електричної енергії ПЧ за табл.2 можна передбачати черговість та час проведення заходів щодо його зниження. З урахуванням теоретичних досліджень запропоновано при занадто великих, високих та середніх значеннях ризику електротравматизму та професійно обумовленого захворювання від дії ЕП ПЧ (0,083 – 1) проводити моніторинг стану електробезпеки.

Висновки

Врахування запропонованої класифікації підходів та методів оцінювання ризику електротравм проводити теоретичні дослідження причинно-наслідкових зв'язків щодо ризику електротравмування та професійного захворювання для персоналу, який обслуговує електроустановки НВН від дії електричної енергії та підвищити ефективність впровадження міжнародних стандартів OHSAS 18001:2007, ISO 50001:2011 в Україні.

Список використаної літератури

1. Rubanenko O. E. Determination of optimal transformation ratios of EES transformers in conditions of incomplete information regarding the values of diagnostic parameters / O. E. Rubanenko, O. I. Kazmiruk, V. M. Bandura, V. A. Matvijchuk, O. O. Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technology. – 2017. – №4. – Р. 1 - 8. ISSN 1729-3774. doi: 10.15587/1729-4061.

2. Исследование электрического поля линий и подстанций сверхвысокого напряжения переменного и постоянного тока. Сборник научных трудов. / [Л. С. Перельман, Н. Н. Тиходеев, Ю. А. Морозов и др.] – Л.: Энергоатомиздат, НИИПТ, 1985. – 104 с.
3. Основи 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.
4. Никольский О. К. Новый взгляд на техногенную безопасность в контексте теории оптимизации и риска / Никольский О. К., Ерёмина Т. В., Семичевский П. И. // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. – 2009. – № 4. С. 20-25.
5. Кальки Валдис. Основные направления оценки рисков рабочей среды / Валдис Кальки, Имант Кристиньш, Жения Роя. – Рига : SIA «Jelgavas tipografija», 2005. – 73 с.
6. Рижков В. Г. Застосування ризик-орієнтовного підходу для аналізу електротравматизму на металургійних підприємствах. / В. Г. Рижков, О. В. Новоцонова // Металургія: зб. наук. праць ЗДІА: Вип. 23 – Запоріжжя. 2011. – С. 180-186.
7. Хенли Э. Д. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Д. Хенли, Х. Кумamoto. Пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1984. – 528 с.
8. Бондаренко Є. А. Методи аналізу та оцінювання ризику електротравматизму / Бондаренко Є. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2013. – № 2. – С. 52-56.
9. Бондаренко Є. А. Менеджмент системи електробезпеки щодо мінімізації ризику дії електромагнітного поля на людину в електроустановках надвисокої напруги / Бондаренко Є. А. // НТУУ «КПІ». "ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія". – 2014. – № 2. – С. 14-21.
10. Bondarenko Y. A. Evaluation of the risk of occupation a diseases caused by electromagnetic field generated by extra-high voltage electric installations // Yevgeni A. Bondarenko, Vasyl M. Kutin, Maryna V. Kutina, Assel Mussabekova, Konrad Gromaszek // SMAILOVA3PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 93 NR 5 – 2017.– P. 118-121.

E. Bondarenko, Dr. Eng. Sc., Prof.

T. Andrienko, student

D. Kushnir, student

State Institution of Higher Education «Vinnitsa National Technical University»

EVALUATION OF PROFESSIONAL RISKS OF ELECTROTRAVMATISM FOR PERSONNEL OF ELECTRICAL STATIONS AND SYSTEMS

The most common approaches and methods of risk assessment are considered. A classification of methods for the quantitative assessment of the risk of electric trauma has been developed. This allowed to conduct theoretical studies of the cause-effect relationships of the risk assessment of electric trauma and occupational diseases for the personnel of the servicing electrical installation of ultrahigh voltage classes of electric stations and systems from the action of electric energy and to propose a method for its evaluation. A matrix method of risk assessment is proposed, which, unlike the known ones, allocates 36 varieties of risk in the form of values (6×6) for binary groups 'probability of an accident is the severity of a traumatic event from the action of electrical energy'. Qualitative and quantitative indicators of the risk assessment matrix make it possible to draw objective conclusions regarding the dependence of the hazard of the electric field effect on the industrial frequency on the personnel and to transform the obtained estimates into adequate and targeted preventive measures for technological work in electrical installations 330, 500, 750 kV.

Key words: power station, energy, electric field, management, risk, electrical safety.

References

1. Rubanenko O. E. Determination of optimal transformation ratios of EES transformers in conditions of incomplete information regarding the values of diagnostic parameters / O. E. Rubanenko, O. I. Kazmiruk, V. M. Bandura, V. A. Matvijchuk, O. O. Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technology. – 2017. – №4. – P. 1 - 8. ISSN 1729-3774. doi: 10.15587/1729-4061.
2. Perelman L. S., Tixodeev N. N. and others Investigation of the electric field of the lines and substations of ultrahigh voltage. Collection of scientific papers. – L: Energoatomizdat, NIIPТ, 1985. – 104 p.

3. Tkachuk, K.N. Khalimovski, M.O. and Zatsarny, V.V. Bases of labor protection. Kyiv: Osnova, 2006. 448 p.
4. Nikolsky, O. K, Eryomina, T. V and Semichevsky P.I. “New view on technogenic safety in a context of the theory of optimization and risk”, *Visnyk Altayskoho technichnoho universiteta*, 2009; vol. 4, pp. 20-25.
5. Kalki Valdis, Imant Kristinsh, Zheniva Roya. Osnovnye napravleniya ocenki riskov rabochej sredy. Riga: SIA «Jelgavas tipografija», 2005. 73 p.
6. Rizhkov, V.G. and Novoshchonova, O.V. (2011), “Application hazard for the analysis electro traumas at the metallurgical enterprises”, *Metallurgy: Naukovi pratsi ZDIA, Zaporozhye*, vol. 23, pp. 180-186.
7. Henli, E.D. and Kumamoto K. Reliability of the technical systems and risk assessment, Moscow: Machinostroenie, 1984; 528 p.
8. Bondarenko E. A. “Metody analizu ta otsiniuvannia ryzyku elektrotravmatyzmu”, *Visnyk Vinnitskoho politechnichnoho institutu*, 2013; vol. 2, pp. 52-56.
9. Bondarenko E. A. “Management of electro security systems for minimization of risk from influence of the electromagnetic field on the person in electro installations of ultrahigh voltage”, Kiev, ENERGETYKA: ekonomika, technologiiyi, ecologiya, 2014; vol. 2 (36), pp. 14-21.
10. Bondarenko Y. A. Evaluation of the risk of occupation a diseases caused by electromagnetic field generated by extra-high voltage electric installations // Yevgeni A. Bondarenko, Vasyl M. Kutin, Maryna V. Kutina, Assel Mussabekova, Konrad Gromaszek // SMAILOVA3PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, R. 93 NR 5 – 2017.– P. 118-121.

УДК 621.3:614.8

Е.А. Бондаренко д-р техн. наук, доц.
Т.В. Андриенко студ.,
Д.С. Кушнир студ.

Винницкий национальный технический университет

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СИСТЕМ

Рассмотрены наиболее распространенные подходы и методы оценки риска. Разработана классификация методов количественной оценки риска электротравм. Это позволило проводить теоретические исследования причинно-следственных связей оценки риска электротравм и профессиональных заболеваний для персонала обслуживающего электроустановки сверхвысоких классов напряжения электрических станций и систем от действия электрической энергии и предложить метод для его оценки. Предложен матричный метод оценки риска, который, в отличие от известных, выделяет 36 разновидностей риска в виде значений для бинарных групп «вероятность несчастного случая - тяжесть травматического события от действия электрической энергии». Качественные и количественные показатели матрицы оценки риска позволяют делать объективные выводы относительно зависимости опасности влияния электрического поля промышленной частоты на персонал и трансформировать полученные оценки в адекватные и адресные профилактические мероприятия для технологических работ в электроустановках 330, 500, 750 кВ.

Ключевые слова: электростанция, энергия, электрическое поле, менеджмент, риск, электробезопасность.

Надійшла 17.04.2018

Received 17.04.2018