

## **ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РОБІТ В ДІЮЧИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

**Л. Д. Третьякова, д.т.н., проф., Л. О. Мітюк к.т.н., доцент**  
*Національний технічний університет «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського».*

### **Постановка проблеми.**

Під час виконання робіт у діючих електроустановках електротехнічні працівники стикаються з небажаними подіями, вплив яких може становити загрози для життя і здоров'я. Особливу небезпеку становлять роботи під напругою та поблизу електроустановок, що може призвести до: ураження електричним струмом у разі дотику до струмовідних частин; впливу електромагнітного поля промислової частоти; потрапляння під наведену напругу, яка виникає в аварійних режимах або переключеннях в мережах зв'язку, лініях електропередавання низької напруги та металевих конструкціях, які розташовано поблизу діючих електроустановок; потрапляння під дію напруги кроку на поверхні ґрунту; впливу акустичним шумом від трансформаторів, вітрових електричних станцій і повітряних ліній; виконання робіт на висоті у незручних робочих положеннях. Повітряні лінії високої напруги та вітрові електростанції генерують об'ємний заряд іонів та акустичний шум, який спричинено короною проводів та арматури. Електромагнітні поля негативно впливають на людину, котра перебуває поблизу промислових електроустановок високої напруги. Джерелами потужних електромагнітних полів промислової частоти є розподільчі пристрої, трансформаторні підстанції зовнішнього розташування, повітряні лінії електропередавання напругою 110–750 кВ.

Одним з обмежуючих чинників будівництва нових ліній електропередавання та реконструкції наявних є їхній екологічний вплив на довкілля та здоров'я людей, котрі обслуговують такі пристрої або постійно знаходяться в межах зон їх впливу. У ході експлуатації певні обсяги профілактично-ремонтних та аварійних робіт здійснюють під напругою. До таких робіт належить профілактика масляних вимикачів, перевірка та налагодження систем релейного захисту, перевірка ізоляції комутаційних кіл, виміри опору заземлювальних пристроїв, перевірка та заміна ізоляторів.

Інша категорія людей, котра піддається впливу аналогічних небезпечних і шкідливих чинників, це населення, яке проживає поблизу діючих електроустановок зовнішнього розташування. Щорічно фіксують до п'ятдесяти сторонніх осіб, котрі гинуть у небезпечних зонах поблизу діючих електроустановок. Окремий вид небезпеки створюють електромагнітні поля у зонах, розташованих поблизу повітряних ліній, які будують поряд з населеними пунктами та зонами, призначеними для сільськогосподарських робіт. Люди, котрі можуть знаходитися у зонах впливу електричних мереж тривалий час, не знають про наявні небезпеки.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Питання впливу промислових електроустановок постійного та змінного струму на довкілля та людей включено до довгострокових програм World Health Organization «WHO International electromagnetic field Project», завданням яких є вивчення та опрацювання результатів медично-біологічних досліджень, розробка рекомендацій та нормативних обмежень щодо біологічного впливу струму та електромагнітного поля. Дослідженнями в цій галузі займається також низка міжнародних і національних організацій: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), European Committee for Electrical Standardization (CENELEC), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BFE), International Organization for Standardization (ISO).

Аналіз статистичної інформації щодо виникнення нещасних випадків на підприємствах енергетичного комплексу підтверджує високий рівень травмування серед електротехнічних працівників. 2016 року відбулося 67 нещасних випадків, у яких потерпілими були 71 працівник, з них сім – зі смертельними наслідками. 2017 року зареєстровано 65 нещасних випадків, в наслідок яких травмовано 77 працівників, з них дев'ять – зі смертельними наслідками [1]. Очевидно, що результатом аналізу повинно бути, окрім означення самих причин, визначення способів їх усунення задля запобігання повторенню травмування, як профілактична складова контрольно-наглядової діяльності.

Дослідження останніх років показали, що механізм дії зовнішніх електромагнітних полів на людину головним чином зумовлений перетворенням електромагнітної енергії в теплову. Рівень впливу залежить від електричних і магнітних властивостей одягу людини, орієнтації тіла щодо векторів напруженості електричного і магнітного полів, а також від відстані до електроустановок, тривалості дії і наявності засобів захисту. Зовнішнє електричне поле впливає на заряди в тілі людини і це призводить до протікання струмів у внутрішніх тканинах і виникнення додаткових внутрішніх магнітних полів. Виміряні значення струмів у тілі працівника, який знаходиться у відкритому розподільному пристрої 500 кВ і має контакт із землею (через взуття) або із заземленими частинами устаткування, становить 130 ... 250 мкА. Під час знаходження працівника на опорі лінії 500 кВ струми досягають 500 ... 600 мкА. У разі потрапляння людини під вплив зовнішнього змінного магнітного поля в тілі виникають узгоджені елементарні струми, які утворюють власні магнітні поля. Наприклад, магнітне поле напруженістю 100 А/м викликає протікання струму через життєво важливі органи людини до 70 мкА. Електричне поле промислової частоти характеризується слабким проникненням у тіло людини, у той час для магнітного поля тканини людини практично прозорі [2].

Відповідно до положень, які містить Угода про асоціацію з Європейським Союзом (ЄС), для мінімізації ризиків травматизму і професійних захворювань на підприємствах України передбачено впровадження Директив ЄС. Оцінювання ризику передбачає Директива 89/391/ЄС та підпорядковані їй

спеціальні директиви з безпеки праці на робочих місцях (89/654/ЄС, 89/655/ЄС, 90/269/ЄС). У Директивах Європейського Союзу та міжнародних стандартах безпеку працівника визначають як рівень захисту, за якого ризик виникнення фізичних, біологічних, соціальних або матеріальних збитків не перевищує прийнятих за експертною оцінкою допустимих значень. Вочевидь результатом аналізу повинно бути, окрім означення самих причин, визначення способів їх усунення задля запобігання повторенню травмування, як профілактична складова контрольно-наглядової діяльності. Вирішення проблеми зменшення кількості надзвичайних ситуацій і пов'язаних з випадками травмування у Директивах ЄС реалізується на підставі ризик-орієнтованих методів. Як показує досвід авторів, це дає можливість запропонувати комплексний підхід під час вибору техніко-організаційних заходів і розробці нових засобів індивідуального захисту для безпечної взаємодії працівника й електроустановки на різних ієрархічних рівнях. Нині поняття «професійний ризик» для електротехнічних працівників має різне тлумачення і зміст, а показники, які використовують, не піддаються зіставленню і порівняльному кількісному оцінюванню [3]. Тому підходи до розробки методологічної концепції оцінювання індивідуального ризику ушкодження здоров'я електротехнічних працівників є актуальними.

**Мета розділу** – обґрунтування способів підвищення безпеки виконання робіт в діючих електроустановках на підставі ризик-орієнтованого методу.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Підвищення безпеки електротехнічних працівників є складним завданням через одночасний вплив низки небезпечних і шкідливих виробничих чинників. За результатами аналітичної обробки статистичної інформації про умови праці в діючих електроустановках встановлено, що нині більш як 22 % електротехнічних працівників працює в шкідливих умовах, 30 % – в особливо шкідливих умовах, для 65 % умови праці на робочому місці не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам. Джерелами потужних електромагнітних полів є розподільчі пристрої, трансформаторні підстанції зовнішнього розташування, повітряні лінії електропередавання напругою 110–750 кВ. Електромагнітне поле промислової частоти характеризується напруженістю електричного поля, напруженістю магнітного поля, а також щільністю об'ємного заряду іонів, викликаного короною проводів та арматури повітряних ліній. Напруженість магнітного поля пропорційна значенню струму, який протікає через струмовідні частини електроустановок, та обернено пропорційна відстані до електроустановки. Напруженість електричного поля пропорційна напрузі та обернено пропорційна відстані до предмета впливу. ЕМП характеризується безперервним розподілом у просторі з енергією, яка може перетворюватися у теплову в тілі людини [4].

Для запобігання підвищеного впливу на серцево-судинну та нервову системи, недопущення теплового удару Директивою 2004/40 [5] встановлено граничні значення щільності струму, який виникає, та питомого поглинання енергії в тілі людини під дією змінного електромагнітного поля залежно від частот джерела (табл. 1).

**Таблиця 1. Нормативні значення щільності струму і поглиненої енергії в тілі людини**

Характеристики впливу	Частотний діапазон	Максимальна щільність струму для голови і тулуба (мА/м <sup>2</sup> )	Питома поглинена енергія		
			середнє значення для тіла людини (Вт/кг)	локальне значення (голова і тулуб) (Вт/кг)	локальне значення (руки або ноги) (Вт/кг)
Вплив у виробничих умовах	4 Гц – 1 кГц	10	0,4	10	20
Вплив на населення	4 Гц – 1 кГц	2	0,08	2	4

У Директиві також визначено відповідні робочі значення напруженості електричного і магнітного поля та щільності потоку зовнішньої енергії залежно від частоти джерела (табл. 2).

**Таблиця 2. Нормативні значення напруженості електромагнітного поля**

Частотний діапазон	Напруженість електричного поля, кВ/м	Напруженість магнітного поля, кА/м	Магнітне поле, мТл
До 1 Гц	42	163	200
1-8 Гц	20	163/f	200/f
8-25 Гц	20	20/f	25/f
25-820 Гц	500/f	20/f	25/f

Разом з тим норми CENELEC допускають опромінення працівників упродовж робочої зміни до 1 280 А/м.

В Україні діє низка стандартів і норм, які встановлюють правила роботи з джерелами електромагнітного поля [6, 7]. Нормують значення напруженості електромагнітного поля, щільність потоку енергії залежно від часу знаходження працівника на робочому місці (табл. 3).

**Таблиця 3. Гранично допустимі напруженості електромагнітного поля**

Напруженість $E$ , кВ/м	Напруженість $H$ , А/м	Щільність потоку енергії, $w_0$ ,	Допустимий час знаходження
-------------------------	------------------------	-----------------------------------	----------------------------

		мкВт/см <sup>2</sup>	на робочому місці, хв.
$E < 5,0$	$H < 80$	25	480
5 ... 10	80 ... 400	67	180
10 ... 15	400 ... 800	100	120
15 ... 20	800 ... 1 600	200	60
20 ... 25	1 600...2 400	800	10
$E > 25,0$	$H > 80$	1 000	5

Граничні обмеження до осіб, які професійно не пов'язані з експлуатацією та обслуговуванням електроустановок визначено у [8, 9] (табл. 4).

**Таблиця 4. Обмеження електромагнітного поля для населення**

Умови знаходження людей	Напруженість електричного поля, кВ/м	Напруженість магнітного поля, А/м
Усередині житлових будинків	0,5	4,0
Зона житлової забудови	1,0	8,0
Сільські населені пункти, території городів і садів	5,0	16,0

Акустичний шум від повітряних ліній електропередавання має дві складові: шипіння, що відповідає звуковій частоті до 100 Гц і кратним їй значенням; широкополосні шуми. Джерелом шуму є іонізація повітря безпосередньо навколо поверхні проводів – ефект корони, який підсилюється під час зростання вологості повітря. Рівень акустичних шумів безпосередньо пов'язано з напруженістю електричного поля на поверхні проводів та їх кількістю у фазі і є максимальним на рівні підвісу проводів.

Суттєві шумові ефекти створюють вітрові електричні станції. У зв'язку з прийнятим Радою ЄС та Верховною Радою України рішень щодо інтенсифікації розвитку відновлювальних джерел енергії, передусім вітрові електричні станції, потребує розв'язання проблема захисту працівників та населення від шумових ефектів, які створюють такі електричні станції. Виходячи з вимог Директиви № 2003/10 [10], у країнах Євросоюзу прийнято нормативи щодо обмеження шумових ефектів від вітрових електричних станцій до рівня 40...65 дБ на робочих ділянках та у населених пунктах (табл. 5).

**Таблиця 5. Національні нормативи допустимого рівня шуму вітроустановок**

Країна	Допустимі рівні шуму, Дб			
	Промислова зона	Змішана зона	Житлові квартали	Спальні райони
Німеччина:				
день	65	60	55	50
ніч	50	45	40	35

Нідерланди:	Не нормують			
день		50	45	40
ніч		40	35	30
Данія	Не нормують	Не нормують	40	40

Забезпечити вказані норми можливо, якщо сучасні потужні вітрові електричні станції з шумовим ефектом біля основи вежі на рівні 95...100 дБ розміщувати не ближче як 200...250 м від місця проживання людей. В Україні граничний рівень акустичного шуму від повітряних ліній та електроустановок не регламентовано. Відповідно до діючих санітарних норм для житлової території припустимий рівень шуму становить: уночі 45 дБ, удень 55 дБ. Під час будівництва повітряних ліній відповідно до державних норм мінімальні межі санітарно-захисних зон на відстанях від проекції на землю крайніх фазних проводів у напрямку, перпендикулярному до повітряної лінії, приймають: за напруги до 1 кВ – 2 м; 20 кВ – 10 м; 35 кВ – 15 м; 110 кВ – 20 м; 220 кВ – 25 м; 330–500 кВ – 30 м; 750 кВ – 40 м; 1150 кВ – 55 м.

Роботи без напруги і під напругою у щоденних штатних ситуацій або у разі виникнення надзвичайних ситуацій виконують відповідно до нормативних документів. Незалежно від виду робіт можна виокремити такі однотипні дії: підготовка до виконання робіт; доставка працівників на висоту; виконання робіт з підключення захисних засобів (захисне заземлення, вирівнювання потенціалів та ін.); безпосереднє виконання робіт. У ході підготовки до виконання робіт передбачено такі заходи: визначення кліматичних умов; вимірювання показників, які нормують (напруженість електромагнітного поля, струм, розподіл потенціалів, рівень ізоляції); підготовка робочого майданчика; перевірка справності приладів та інструментів, підготовка працівника до роботи. Кліматичні умови визначають через вимірювання температури, вологості і швидкості вітру. Допустимими для роботи є показники, які знаходяться в межах: температура від –10 до +40 °С; вологість – не більш як 90 %; швидкість вітру – не більш як 10 м/с. Інструменти та індивідуальні засоби захисту візуально перевіряють на відсутність дефектів. Працівники одягають захисний комплект, який складається із захисного одягу, каски, рукавичок, взуття і страхового поясу. Роботи у відкритих електроустановках відбуваються на висоті від двох до сорока метрів, тому потрібно виконувати правила з охорони праці на висоті. Одним з відповідальних етапів є підняття працівників на висоту. З цією метою використовують телескопічні вежі, сходи, виконані з дюралюмінієвих труб, або підвісні кабінки. Після підйому на опору працівник повинен знаходитися на безпечній відстані від струмопровідних проводів, ліній зв'язку та систем блискавки захисту через можливість травмування людини дистанційно. Безпечна відстань визначається рівнем напруги і становить від 1 м до 5 м. Працівники, які знаходяться на поверхні землі, не повинні наближатися до опори повітряної лінії ближче ніж на 8...10 м. Така вимога зумовлена можливістю виникнення крокової напруги, а також потрапляння в зону дії електромагнітного поля. Роботи, які виконують на висоті, пов'язані з високим рівнем фізичних та інтелектуальних навантажень. Монтер під час виконання

виробничих операцій 60 % робочого часу знаходиться у положенні «стоячи, випрямившись» і до 40 % – у положенні «зігнувшись». Проведені дослідження структури травматизму за топографічними зонами тіла monterів показали, що найбільш травмованими є: пальці рук – 40 %; гомілка ноги – 18 %; голова – 5 %; хребет – 3 %.

В енергетиці безпеку виконання робіт забезпечують:

- рівнем кваліфікації і підготовленості працівника. До роботи допускають працівників, які мають не менш як третю групу з електробезпеки виконання робіт;

- психофізіологічними даними та станом здоров'я працівника. Під час відбору працівників існують певні вимоги щодо показників здоров'я і здійснюють психологічну експертизу;

- ступенем узгодженості технічних завдань та електроінструментів з колективними діями працівників. Роботи в діючих електроустановках завжди виконують за нарядом-допуском, який передбачає бригадний метод роботи. Бригада складається з 6...10 працівників, тому небезпеки, пов'язані з виконанням певних робіт, впливають більш як на одну особу.

Електротехнічних працівників, котрі виконують роботи поблизу діючих електроустановок, потрібно захищати від впливу електромагнітного поля і наведеного струму. Моніторинг параметрів електромагнітного поля на робочих місцях показав, що рівні напруженості досягають суттєвих значень. Під час знаходження під серединою прольоту повітряної лінії на висоті 1,5 м експериментально зафіксовані такі значення: напруга 500 кВ – напруженість  $E = (6...10)$  кВ/м,  $H = (35...40)$  кА/м; напруга 220–330 кВ –  $E = (6...8,5)$  кВ/м,  $H = (28...36)$  кА/м; напруга 110 кВ –  $E = (0,45...0,75)$  кВ/м,  $H = (12...16)$  кА/м; 35 кВ –  $E = (0,25...0,30)$  кВ/м,  $H = (0,8...0,82)$  кА/м [11]. Результати експериментальних вимірювань указують на неоднорідність електромагнітного поля діючих електроустановок. Наявність захисних заземлювальних пристроїв призводить до змінення розподілу поля навіть уздовж однієї лінії. Погодні умови, рельєф місцевості, наявність дерев також впливають на рівні напруженості.

Аналіз умов праці засвідчив, що у ході виконання робіт на електротехнічних працівників впливає комплекс небезпечних і шкідливих виробничих чинників: дія зовнішнього електромагнітного поля і можливість безпосереднього або дистанційного впливу електричного струму; підвищені механічні навантаження, несприятливі кліматичні чинники, шум, локальна вібрація, недостатній рівень освітлення. Такі чинники можуть спричинити виникнення несприятливої події. Ризик є адитивною функцією, тому у мультиплікативній формі, яка дає можливість оцінити одночасний вплив  $M$  чинників, запишемо:

$$R = \left\{ \sum_{i=1}^M (S_{fi}, P_{di}, D_{fdi}) \right\}, \quad (1)$$

де  $R$  – загальний індивідуальний ризик;  $S_{fi}$  – умови виникнення  $f$ -ї несприятливої події;  $P_{di}$  – імовірність того, що  $d$ -тий нещасний випадок

станеться;  $D_{fdi}$  – можливі наслідки  $d$ -го нещасного випадку, який станеться за  $f$ -ої несприятливої події.

Індивідуальний ризику  $R_i$  за умови (1) можна надати у вигляді [12]

$$R_i = P_f \cdot P_{df}, \quad (2)$$

де  $P_f$  – імовірність виникнення  $f$ -ї несприятливої події;  $P_{df}$  – імовірність виникнення наслідків для працівника від даної несприятливої події за наявності заходів і засобів захисту.

Імовірність несприятливої події  $P_f$ , яка може призвести до нещасного випадку, можна надати як добуток – імовірності виникнення небезпеки  $P(A)$  та ймовірності впливу цієї небезпеки на працівника  $P(B)$ :

$$P_f = P(A) \cdot P(B). \quad (3)$$

В енергетиці завжди впроваджують заходи з обмеження ризиків. Імовірності виникнення небезпеки  $P(A)$  визначаємо для сучасний енергопостачальних підприємств за наявності заходів і засобів захисту: технічних (захисне заземлення, огорожі, ізоляція струмовідних частин, автоматичне відімкнення електроустановок у аварійних режимах тощо); організаційних (робота відповідно вимог, вказаних у наряді-допуску); відповідних засобах індивідуального захисту. Імовірність виникнення певного виду небезпеки (робота під напругою або поблизу діючих електроустановок, вплив електромагнітного поля, робота на висоті, використання транспортних засобів та електроінструменту тощо) обчислюємо за тривалості виконання робіт упродовж певного розрахункового періоду

$$P(A) = \frac{\tau_i \cdot K}{T_y}, \quad (4)$$

де  $\tau_i$  – тривалість робіт за наявності  $i$ -го чинника небезпеки, відповідно до наряду-допуску;  $K$  – коефіцієнт, який визначає фактичний час знаходження в небезпечній зоні;  $T_y$  – розрахунковий період, який прийнято в межах робочого часу впродовж року, тобто  $T_y$  дорівнює 2080 годин.

Небезпечна подія може призвести до нещасного випадку на виробництві. Запропоновано імовірність впливу небезпечної події на працівника визначати за статистичною щорічною інформацією щодо нещасних випадків [1] і розраховувати за формулою:

$$P(B) = \frac{n}{k \cdot N}, \quad (5)$$

де  $n_{bf}$  – кількість травмованих працівників через нещасні випадки, які спричинено  $f$ -ою подією;  $k$  – частка працівників підприємства, котра може потрапити під вплив  $f$ -ї події впродовж року;  $N$  – загальна кількість працівників.

Наслідки зазвичай надають у термінології, яка відповідає виду збитків (матеріальні, грошові, соціальні) або виду ушкоджень (фатальні, травми, професійні захворювання, доза опромінення). Імовірність виникнення наслідків  $P_{df}$  для працівника від даної несприятливої події за наявності заходів і засобів



захисту можна надати як добуток – імовірності тяжкості наслідків та ймовірності обмеження наслідків через впровадження нових або додаткових засобів і заходів захисту (засобів індивідуального захисту, додаткової ізоляції, покращення професіональних навичок через новітні методи навчання тощо).

$$P_{d/f} = P(D) \cdot P(C), \quad (6)$$

де  $P(D)$  – імовірність тяжкості наслідків у результаті нещасного випадку;  $P(C)$  – імовірність обмеження наслідків під час впровадження нових заходів захисту.

Під час оцінки ризиків електротехнічних працівників як наслідки виокремлюємо фатальні (смертельні) випадки та нещасні випадки, які призвели до погіршення здоров'я працівників з тимчасовою втратою працездатності (травмуванням, захворюванням). Імовірність виникнення фатальних наслідків визначаємо за формулою:

$$P(D)_c = \frac{n_c}{n_{of}}, \quad (7)$$

де  $P(D)_c$  – імовірність фатальної травми;  $n_c$  – кількість працівників, які загинули;  $n_{of}$  – кількість працівників, які постраждали від нещасних випадків, спричинених  $f$ -ою подією, за розрахунковий період.

$$P(D)_t = \frac{n_t}{n_{of}}, \quad (8)$$

де  $P(D)_t$  – імовірність втрати тимчасової працездатності;  $n_t$  – кількість працівників, яким завдано шкоду здоров'ю.

Таким чином, індивідуальний ризик до наявної  $f$ -ої небезпеки окремого працівника визначаємо за формулою:

$$R_f = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \cdot P(D). \quad (9)$$

Індивідуальні ризики, які потенційно впливають на працівника, утворюють загальний ризик. Верхню межу загального ризику  $R$  за умови незалежності виникнення  $F$  несприятливих подій визначаємо

$$R = \sum_{f=1}^F R_f. \quad (10)$$

Нині повною мірою повстала проблема зниження кількості і наслідків нещасних випадків на електропостачальних підприємствах. За наведеною методикою розраховано індивідуальні ризики, які адаптовано до професійної діяльності електротехнічних працівників (табл. 6).

**Таблиця 6. Імовірності подій і наслідків, що виникають під час нещасних випадків**

Несприятлива подія	Імовірність виникнення небезпек	Імовірність впливу небезпеки на працівника	Імовірність виникнення наслідків $P_{d/f}$		Індивідуальний ризик	
			Імовірність	Імовірність	фатальної	втрати працездатності

	$P(A)$	$P(B)$	фатальн ої травми $P(D)_c$	втрати працезд атності $P(D)_t$	травма $R_c$	ності $R_t$
Уражен ня електри чним струмом	0,15	$3,62 \cdot 10^{-3}$	0,32	0,68	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$
Травмув ання під час руху	0,24	$2,88 \cdot 10^{-3}$	0,17	0,83	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$5,76 \cdot 10^{-4}$
Падіння з висоти	0,21	$2,51 \cdot 10^{-3}$	0,07	0,93	$3,59 \cdot 10^{-5}$	$4,64 \cdot 10^{-4}$
Травмув ання сторонні х осіб	0,11	$2,66 \cdot 10^{-3}$	0	1	0	$2,67 \cdot 10^{-4}$
Опромін ення електро магні- тним полем	0,64	$3,98 \cdot 10^{-3}$	0,06	0,94	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-3}$
Підвище ний рівень важкості робіт	0,52	$4,25 \cdot 10^{-3}$	0	1	0	$2,12 \cdot 10^{-3}$
Поруше ння режиму робіт	1,0	$1,32 \cdot 10^{-3}$	0	1	0	$1,30 \cdot 10^{-3}$

Загальний ризик серед електротехнічних працівників на діючих енергопостачальних підприємствах отримати фатальну травму становить  $4,84 \cdot 10^{-4}$ , тобто в середньому п'ять випадків на кожні 10 тисяч працівників, а ризик травмування та втрати працездатності  $-7,42 \cdot 10^{-3}$ , тобто сім працівників на кожну тисячу працівників.

Очевидно, що запропонований ризик-орієнтований підхід дає можливість окрім констатування причин травмування визначити ефективні заходи із запобігання нещасних випадків. Запровадження вимог Директив ЄС щодо безпеки експлуатації електроустановок, реконструкція повітряних ліній, впровадження новітніх методів навчання дасть змогу суттєво знизити рівень

травматизму електротехнічних працівників. Нині єдиним бар'єром між працівником і небезпечним виробничим середовищем є засоби індивідуального захисту, тому їх удосконалення часто дає змогу суттєво зменшити небезпеки для здоров'я, а в деяких випадках для життя електротехнічних працівників.

Авторами розроблено захисний екрануючий одяг з композиційних текстильних двошарових або тришарових матеріалів [13]. Основна вимога щодо матеріалу – високий рівень електропровідності і магнітної проникності. Використаний двошаровий матеріал складається з нетканого поліпропіленового полотна (внутрішній шар) та з вуглецево-волокнистого матеріалу (зовнішній шар). У тришаровому матеріалі для внутрішнього шару використано неткане поліестерове полотно, середній шар складає вуглецево-волокнистий матеріал, а зовнішній шар – бавовняна або поліефірна тканина з поверхневою густиною до  $60 \text{ г/м}^2$ . Поліпропіленове полотно має електричний опір  $10^8 \dots 10^{10} \text{ Ом}$  і використано як ізоляційний шар. Вуглецеві волокна мають електричний опір у межах  $(12 \dots 25) \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$  і є струмопровідними частинами матеріалу. Третій шар можна використовувати для підвищення механічних характеристик одягу і запобігання ушкодженню струмопровідного шару.

Щільність потоку енергії  $W_{\text{п}}$ , яка проникає і поглинається у тілі працівника, дорівнюватиме

$$W_{\text{п}} = W_0(1 - \rho), \quad (11)$$

де  $W_0 = w \cdot S_{\text{еф}}$  – падаюча на тіло людини енергія електромагнітного поля;  $S_{\text{еф}}$  – ефективна поверхня тіла людини;  $\rho$  – коефіцієнт відбиття на рівні повітря–шкіра становить  $0,75 \dots 0,85$  за частоти  $50 \text{ Гц}$ . У ході використання питома поглинена енергія не повинна перевищувати допустимих значень, наведених у табл. 1.

### **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

1. Експлуатація електроустановок високої напруги є складним технічним завданням, яке пов'язано з підвищеним рівнем небезпеки і високою імовірністю виникнення несприятливих подій. Особливу небезпеку становлять роботи на висоті з підвищеним рівнем навантаження, роботи під напругою і впливом електромагнітного поля. Встановлено, що такі умови праці можуть призвести до нещасних випадків серед працівників, і негативно впливають на здоров'я населення, яке перебуває в зоні впливу діючих електроустановок. 2016 року відбулося 67 нещасних випадків, у яких потерпілими були 71 працівник, з них сім – зі смертельними наслідками. 2017 року зареєстровано 65 нещасних випадків, в наслідок яких травмовано 77 працівників, з них дев'ять зі смертельними наслідками.

2. Ризик-орієнтований підхід, який рекомендовано як основний під час визначення рівня безпеки електротехнічних працівників у Директивах Європейського Союзу, дав змогу обчислити індивідуальні і загальні ризики травмування з різною ступенем важкості на підставі статистичної інформації останніх років серед певних груп електротехнічних працівників.

3. Запропонований метод дає можливість у подальшому визначити

ефективність впровадження захисних техніко-організаційних заходів і засобів індивідуального захисту на рівень безпеки виконання робіт в діючих електроустановках.

### **Список використаних джерел**

- 1 Інформаційно-аналітична довідка про рівень травматизму на енергетичних підприємствах України за 2010–2017 роки.
- 2 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Знак, 2003. – 440 с.
- 3 Касьянов Н.А. Совершенствование методов оценки производственного риска при проведении аварийно-спасательных работ на объектах строительства / Н.А. Касьянов, О.Н. Гурченко, В.И. Корневой // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Вип. 93. – 2016. – С. 56–65.
- 4 Теоретические основы электротехники. Том 3. / [К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин]. – С-Петербург, Изд. дом “Питер”, 2004. – 376 с.
- 5 Директива № 2004/40/ЄС від 29.04.2004. Про мінімальні вимоги щодо безпеки й гігієни праці працівників, які піддаються небезпеці впливу фізичних факторів (електромагнітних полів).
- 6 ДСНіП 476-2002. Державні санітарні норми і правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів. – К.: Держстандарт, 2002. – 18 с.
- 7 ДСанПіН 198-97. Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в не вимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно. – К.: Держстандарт, 1997. – 38 с.
- 8 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. № 173. – К.: Держстандарт, 1996 – 26 с.
- 9 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01 серпня 1996 р. № 239. – К.: Держстандарт, 1996 – 18 с.
- 10 Директива № 2003/10/ЄС від 06.02.2003. Про мінімальні вимоги щодо безпеки й гігієни праці під час впливу на працівників небезпечних фізичних факторів (шуму).
- 11 Бржезіцький В. Експериментальні дослідження електричного поля повітряної лінії електропередавання змінного струму класу 330 кВ. / В. Бржезіцький В., В. Сулейманов В // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 2. – С. 7–12.
- 12 Vincoli J.W. Basic guide to system safety. / J.W. Vincoli – New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. – 193 p.
- 13 Мітюк Л. Способи удосконалення системи захисту працівників від впливу електромагнітного поля промислової частоти /Л. Мітюк, Л. Третьякова. // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво». – 2017.– Вип. 32. – С. 93–102.