

**Л.Д.Третьякова Л.Д.**, д-р.тех.наук, професор

*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

**Л.О. Мітюк**, канд. тех.наук, доцент

*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА РОБІТ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ**

У статті розглянуто питання удосконалення захисту електротехнічних працівників від впливу електромагнітного поля промислової частоти. Проаналізовано діючі обмеження у міжнародних і вітчизняних нормативних документах. Запропоновано новий екрануючий комплект з використанням новітнього композиційного текстильного матеріалу.

**Ключові слова:** *вплив електромагнітного поля промислової частоти, нормативні параметри, екрануючий комплект.*

В статье рассмотрены вопросы усовершенствования защиты электротехнических работников от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты. Проанализированы действующие ограничения в международных и отечественных нормативных документах. Предложен новый экранирующий комплект с использованием инновационного композиционного текстильного материала.

**Ключевые слова:** *влияние электромагнитного поля промышленной частоты, нормативные параметры, экранирующий комплект.*

This article investigates the means for improving protection of electrical workers against the effects of power frequency electromagnetic fields. Current restrictions specified in both international and local regulatory instruments have been analyzed. New conductive clothing using novel composite textile material has been proposed.

**Key words:** *effects of power frequency electromagnetic fields, regulatory parameters, conductive clothing.*

Сучасна електроенергетика характеризується використанням високих напруг і потужних електроустановок, що призводить до суттєвого підвищення рівнів впливу електромагнітного поля (ЕМП) на біосферу і людину. ЕМП можуть впливати на людину безпосередньо, у разі її знаходження поблизу електричних ліній електропередавання або інших зовнішніх електроустановок високої напруги, а також через наведену напругу. Наведена напруга виникає у перехідних процесах та аварійних ситуаціях поблизу ліній зв'язку, повітряних лініях низької напруги та окремих струмопровідних елементах будівельних або виробничих конструкцій, які не мають електричного зв'язку зі землею. Електромагнітна безпека і захист довкілля й здоров'я населення становить велику проблему, вирішення якої виходить на новий рівень актуальності та соціальної значущості. Надаючи вагомості цій проблемі, World Health Organization (WHO) 1995 року впроваджено термін «глобальне електромагнітне забруднення довкілля» [1].

До основних способів підвищення безпеки виконання робіт електротехнічними працівниками належать: встановлення обґрунтованих нормативних значень параметрів ЕМП; впровадження нових технічних рішень побудови повітряних ліній; обмеження тривалості виконання робіт; використання ефективних і надійних засобів індивідуального захисту.

Мета статті – забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників у ході виконання робіт під впливом електромагнітних полів промислової частоти, які утворюють потужні електроустановки в енергосистемі України.

Електромагнітне випромінювання характеризується напруженістю електричного поля (ЕП), напруженістю магнітного поля (МП), а також щільністю об'ємного заряду іонів, спричиненого короною проводів та арматури повітряних ліній електропередавання. Параметри таких полів та обсяг іонів залежать від класу напруги, конструктивних особливостей і геометричних розмірів електроустановок. Напруженість ЕП пропорційна напрузі (заряду) та обернено пропорційна відстані до об'єкту впливу (людина або будівля). Напруженість МП пропорційна значенню струму, який проходить через електроустановку, та обернено пропорційна відстані до неї. В оцінках впливу ЕМП промислових частот (50–60 Гц) також використовується поняття щільності магнітного потоку – магнітна індукція.

Потужні ЕП промислової частоти здебільше створюють об'єкти електроенергетики в енергосистемі України (лінії електропередавання високої напруги 110–750 кВ, збірні шини станцій, трансформаторні підстанції та апарати високої напруги). Рівень напруженості ЕП біля повітряних ліній залежить від конструкційно-будівельних параметрів: діаметру і кількості проводів, відстані між ними, висоти підвісу їх над поверхнею землі. Рівень впливу на працівників, котрі знаходяться у межах санітарної зони, залежать від відстані до струмовідних частин повітряних ліній. Найбільше значення ЕП реєструють під час перебування людини безпосередньо під проводами і по центру між опорами. За мірою віддалення від осі лінії і ближче до опор рівні напруженості ЕП знижуються. Дальність поширення МП залежить від величини струму. Оскільки навантаження повітряних ліній може неодноразово змінюватися і впродовж доби, і залежно від сезонів року, відповідно розміри зони підвищеного рівня МП також змінюються. ЕМП трансформаторів та іншого обладнання, яке використовують в електроенергетичній системі, змінюється обернено пропорційно відстані до об'єкту опромінення [2].

Електротехнічні працівники піддаються обмеженому в часі (до 8 годин) впливу потужних ЕМП. В екстремальних випадках, наприклад, під час робіт на елементах високовольтних (110–750 кВ) повітряних лініях під напругою, працівники перебувають у зоні підвищеного впливу напруженості ЕП і МП. Населення, котре проживає поряд з повітряними лініями, постійно перебуває в зоні впливу ЕМП.

Численні дослідження біологічного впливу ЕМП визначають серед найбільш чутливих систем організму людини: нервову, імунну, ендокринну і статеву [3]. Особливу увагу потрібно приділяти визначенню допустимих рівнів впливу ЕМП на дітей, вагітних, людей зі захворюваннями центральної нервової, гормональної, серцево-судинної системи, алергіків, людей з ослабленим імунітетом.

Визначені проблеми знаходяться у полі зору багатьох міжнародних організацій: World Health Organization (WHO); International Electrotechnical Commission (IEC); International Radiation Protection Association (IRPA); International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP); The International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS); European Committee for Electrical Standardization (CENELEC). Ці організації об'єднують сорок шість національних комісій майже з усіх країн Європи, США, Канади Бразилії, Аргентина, Китаю, Японіє, Індії та інших країн.

У Європейських стандартах параметром, що визначає ступінь впливу ЕМП промислової частоти на організм людини, є щільність наведеного в тілі струму. За результатами медично-біологічних досліджень встановлено максимальну допустиму щільність струму в тілі людини, яку використовують для визначення контрольованих параметрів ЕМП. Для електроустановок промислової частоти такими параметрами є напруженості ЕП і МП. Зв'язок між максимальними значеннями характеристик ЕМП і допустимою щільністю струму можна розрахувати аналітично або встановити експериментально [4]. Міжнародна комісія ICNIRP 1992 року під час розроблення та прийняття нормативно-методичних заходів з обмеження дії неіонізуючого випромінювання в умовах навколишнього і виробничого середовища впровадила додатково обмеження значень таких показників: щільність індукційного струму, питома поглинена потужність і щільність потоку енергії, для яких визначено відповідні контрольовані рівні.

Найбільш обґрунтованими і повними є Норми CEU ENV50166, запропоновані Технічним комітетом CENELEC, які є правовим документом для захисту електротехнічних працівників від впливу ЕМП на робочих місцях. Під час тривалого впливу змінного струму промислової частоти за базове значення прийнято щільність струму в  $10 \text{ мА/м}^2$ , якій за частоти 50 Гц відповідають напруженості електричного і магнітного полів  $20 \text{ кВ/м}$  і  $4 \text{ кА/м}$  відповідно. Уперше нормовано струм, який протікає через людину під час контакту з об'єктами, які перебувають в ЕМП:  $3,5 \text{ мА}$  – на робочих місцях і  $1,5 \text{ мА}$  – для населення.

Відповідно до стандартів ІЕС передбачено норми на робочих місцях з електробезпеки, які поділяють на три категорії. Перша категорія від  $(6,1 - 12,3) \text{ кВ/м}$  і  $(159 - 320) \text{ А/м}$  – обов'язкова інформація для працівників про можливий шкідливий вплив ЕМП; друга категорія від  $(12,3 - 19,6) \text{ кВ/м}$  і  $(320 - 480) \text{ А/м}$  – обов'язкові заходи щодо обмеження тривалості перебування під впливом ЕМП; третя категорія більш як  $(19,6 \text{ кВ/м}$  і  $480 \text{ А/м})$  – обов'язковим, окрім обмеження тривалості перебування та попередження «небезпечна робота», є застосування екрануючих засобів захисту. Для населення базові значення напруженості у більшості міжнародних рекомендацій приймають у 2,5 рази меншими, ніж на робочих місцях.

Окремо в своїх рекомендаціях IRPA надає граничні значення МП та допустиму тривалість впливу під час опромінення різних частин тіла працівників (табл. 1).

Таблиця 1. Допустима тривалість впливу магнітного поля промислової частоти

Граничне значення напруженості МП, А/м	Тривалість опромінювання
20 000	Кінцівок до 2 годин за робочу зміну
4 000	Всього тіла до 2 годин за робочу зміну
400	Всього тіла впродовж 8 годин

Разом з тим Європейський комітет з електротехнічних стандартів CENELEC допускає опромінення працівників впродовж робочої зміни МП до  $1280 \text{ А/м}$ .

Слід зазначити, що максимально допустимі значення напруженості ЕП і МП, а також щільності наведеного струму та тривалості їх впливу обмежують також для окремих органів і тканин тіла людини (табл. 2).

Таблиця 2. Рекомендації щодо обмеження впливу напруженості ЕП, МП та щільності струму на окремі органи людини

Тип обмеження	Вид чинника, який впливає	Органи людини	Допустимі значення
Базовий рівень впливу	Напруженість ЕП, В/м	Мозок	0,0531
		Серце та інші внутрішні органи	0,943
		Долонь, зап'ястя, стопа, коліно	2,1
	Струм дотику, мА	Стопа	3,0
		Контакт рукою (схопити)	3,0
		Контакт рукою (дотик)	1,5
Максимально допустимий вплив	Напруженість ЕП, кВ/м	У середньому по всьому тілу	20
	Магнітна індукція МП, мТл	Голова, тулуб	2,71
		Руки, ноги	63,2

Враховуючи зазначене, максимальні рівні ЕМП, нормовані у міжнародних і національних стандартах, поблизу повітряних ліній змінного струму для цілодобового перебування працівників не перевищують 10 кВ/м ЕП і 100 мкТл МП. В Україні гранично допустимі рівні ЕМП частотою 50 Гц набагато суворіші (тобто нижчі), особливо щодо МП, що зумовлено використанням більш високих коефіцієнтів гігієнічного запасу відносно визначеного порогу несприятливого впливу ЕМП [5].

Зниження ризику негативного впливу ЕМП на працівників та навколишнє середовище доцільно досягати впровадженням технічних заходів, які першочергово стосуються повітряних ліній, а також використанням новітніх екрануючих засобів індивідуального захисту. На трасах повітряних ліній потрібно продовжити роботи за такими напрямками:

- розроблення та використання у проектуванні повітряних ліній високої та надвисокої напруги конструкцій опор з обмеженою інтенсивністю ЕМП через оптимальне розміщення проводів та відповідного фазування;
- подальше корегування на підставі результатів нових медично-біологічних досліджень нормативів допустимої інтенсивності ЕП і МП для упередження можливих ризиків впливу ЕМП на електротехнічних працівників.

Нині у зарубіжній практиці проектування (Китай, Швеція, Норвегія) максимальне зниження напруженості МП досягають впровадженням опор з наближеним розташуванням фаз (у вершинах трикутника). Традиційно в конструкціях опор повітряних ліній надвисокої напруги використовують виконання проводів фаз з горизонтальним розміщенням і великими між фазними відстанями, що суттєво знижує ефект міжфазової компенсації МП. Наприклад, за нормованої в Європі відстані 30 м від осі повітряної ліній максимальні значення напруженості МП на трасах повітряних ліній 500 кВ і 420 кВ за рахунок трикутного розміщення фаз знижено майже у два рази – від 54 до 26 кА/м відповідно [6]. Також доцільно використовувати багатоланцюгові опори з вертикальним розташуванням проводів за певним способом їх фазування. За рахунок фазування, вибраного за умови мінімуму напруженості МП під повітряною лінією, рівень напруженості знижується більш як у 1,5 раз. В Європейському Союзі (Німеччина, Нідерланди) компанією TENNET розроблено та успішно впроваджено нову конструкцію дволанцюгової опори типу «Wintrack» зі скороченими міжфазними відстанями, що дало змогу майже втричі зменшити рівень впливу МП.

У ході експлуатації електричних мереж напругою 110–750 кВ певні обсяги профілактично-ремонтних та післяаварійних робіт можуть здійснювати під напругою: профілактика масляних вимикачів; перевірка та налагодження систем релейного захисту; перевірка ізоляції комутаційних кіл; виміри опору заземлювальних пристроїв; перевірка та заміна ізоляторів. Такі роботи працівники виконують в екрануючих захисних комплектах. Авторами статті розроблено захисний екрануючий комплект, який виготовлено з композиційного текстильного матеріалу, що містить неткане поліпропіленове полотно (внутрішній шар) та вуглецево-волокнистий матеріал (зовнішній шар) [7]. Поліпропіленове полотно має електричний опір ( $10^8 \dots 10^{10}$ ) Ом і використано як ізоляційний шар. Вуглецеві волокна мають електричний опір в межах  $(12 \dots 25) \cdot 10^{-2}$  Ом і є струмопровідними частинами матеріалу. Захист працівника в екрануючому комплекті відбувається у такий спосіб: під час проходження хвилі через перший струмопровідний шар відбувається часткове її поглинання і віддзеркалення. Далі хвиля, проходячи через шар нетканого матеріалу, частково поглинається і відбувається подальше її ослаблення. Порівняно з наявним екрануючим одягом, який виготовляють з бавовняного полотна з мікродротом, запропонований має безумовні переваги. У структурі одношарової тканини тонкий мідний дріт скручений з нитками основи, що зумовлює поєднання функцій екранування та електроізоляції. У ході виконання технологічних операцій працівник змінює своє положення відносно зовнішнього ЕМП. Екрануючий матеріал розтягується чи стискається, що призводить до зміни опору між захисним одягом і тілом працівника. Матеріал є найбільш ненадійним елементом такого комплексу, у ході експлуатації його поверхня ушкоджується, відповідно, втрачаються захисні властивості.

Запропоновані різновиди захисного одягу складаються з костюму (подовжена куртка та штани) або комбінезону прямого силуету з каптуром. Під час розробки враховано нерівномірний розподіл напруженості за поверхнею тіла працівника та допустимий рівень впливу ЕМП на окремі органи тіла працівника. Конструкцією комбінезонів і курток передбачено каптури зі щільним приляганням до обличчя. Мінімальний ризик забруднення працівника, легкість в одяганні та зніманні куртки і комбінезону досягнуто застосуванням центральної подвійної закритої застібки на тасьму «блискавку» для захисту щитоподібної залози, грудної клітини та черевної порожнини. У куртці запропоновано суцільнокроєний рукав, що скоротить навантаження на лінію пройми і дасть змогу працівнику вільно підіймати та опускати руки. Застосовано фіксатор для великого пальця у рукавах куртки і комбінезону та штрипки по низу штанів для фіксації деталей виробу під час руху. Захисний одяг одягають на білизну, а для гарного контакту тіла людини зі струмопровідною основою, передбачено струмопровідні манжети одягу, які щільно охоплюють руки вище кистей. Забезпечено сумісність такого захисного одягу зі засобами захисту рук (рукавичками) та ніг (шкіряні черевики або чоботи зі струмопровідного матеріалу), призначеними для спільного використання. Поверх каптура можна використати каску з ізолювального матеріалу зі струмопровідним напиленням. Усі складники комплекту з'єднано струмопровідними тасьмами. Для захисту працівника у вологу погоду розроблено накидку з полівінілхлорид-пластикату. Ефективність екранувального комплекту визначається коефіцієнтом екранування, який показує у скільки разів знижується струм, що протікає через людину під впливом ЕМП. Випробування дослідного зразку в лабораторних умовах показали зниження струму не менш як у чотири рази.

*Висновки.* 1. Міжнародні норми щодо обмеження впливу електромагнітного поля встановлюють базове значення щільності струму у тілі працівника на рівні  $10 \text{ мА/м}^2$ , який за частоти 50 Гц відповідають напруженості електричного поля 20 кВ/м і магнітного поля 4 кА/м. Проаналізовано рекомендації міжнародних організацій щодо обмеження величин напруженості електромагнітного поля та щільності струму на окремі органи тіла людини.

2. Запропоновано новий вид екрануючого комплекту, який дає змогу забезпечити потрібний рівень захисту та обмежити негативний вплив електромагнітного поля на електротехнічних працівників під час робіт під напругою в електричних мережах 110–500 кВ.

## Література

1. ENV 5-166. Human exposure to electromagnetic fields. – Brussels, CENELEC, 1995.
2. Бржезицький В.О. Експериментальні дослідження електричного поля повітряної лінії електропередавання змінного струму класу 330 кВ / В.О. Бржезицький, В.М. Сулейманов, Є.О. Троїцький та ін. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016, № 2. – С. 7–12.
3. Охорона праці та промислова безпека. / За ред. Ткачука К.Н. та Зацарного В.В. – К.: Лібра, 2010. – 558 с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Знак, 2003. – 440 с.
5. ДСНіП 476-2002. Державні санітарні норми і правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів. – К.: Держстандарт, 2002. – 18 с.
6. Шевченко С.Н. Особенности проектирования ВЛЭП исходя из распределения параметров электрического поля. <http://www.energobud.com.ua/ru/>.
7. Третьякова Л.Д. Способи удосконалення системи захисту працівників від впливу електромагнітного поля промислової частоти / Л.Д. Третьякова, Л.О. Мітюк // Вісник НТТУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2017, Вип. 32. – С. 93–102.