

УДК 658.382.3

В. С. Собчук, к. т. н., проф.; Н. В. Собчук, к. т. н., доц.; О. В. Слободянюк, к. п. н.

НОРМУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДИНИ В ЗОНІ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

Запропоновано методику нормування тривалості перебування людини в зоні впливу електричного поля високовольтних установок промислової частоти з урахуванням енергії, яка поглинається головою людини і підвищує температуру з 36,6 °С до 43,6 °С.

***Ключові слова:** людина в сильному електричному полі; тривалість безпечного перебування; припустима температура голови.*

Вступ

Ефективний захист оперативного і ремонтного персоналу, який обслуговує відкриті розподільні пристрої підстанцій та повітряні лінії електропередачі від руйнівної дії електричного поля промислової частоти можна забезпечити дотриманням допустимих відстаней наближення, обмеженням тривалості перебування в зоні впливу, екранувальними пристроями для конкретних робочих місць.

Питання про ступінь руйнівної дії електричного поля на людину стало актуальним після введення в роботу високовольтного обладнання напругою 400 (500) кВ.

Перші норми тривалості перебування людини в сильному електричному полі промислової частоти в залежності від НЕП в зоні впливу наведено в ГОСТ 12.1.002-75. Згодом на підставі результатів медико-біологічних досліджень дії НЕП на людину було встановлено нові норми, які наведено в ГОСТ 12.1.002-84 і ДСанПіП 3.3.6.096-2002 [1].

Недоліком цих стандартів є те, що вони не повною мірою враховують параметри конкретної людини, яка перебуває в сильному електричному полі, та взаємозв'язок із кількістю енергії ЕП, що поглинається тілом людини.

Черговий крок у розв'язку цієї проблеми зроблено авторами в [3], де отримано формулу, що враховує залежність допустимої тривалості перебування оперативного персоналу в сильному ЕП від кількості допустимої енергії, яка поглинається тілом людини, НЕП та конкретні параметри людини.

Результати дослідження

Авторами цієї статті запропоновано дещо інший підхід до нормування тривалості перебування людини в зоні впливу діючого електрообладнання, який ґрунтується на визначенні критичної енергії, що поглинається під час знаходження в сильному електричному полі не всім тілом, а тільки головою.

Експериментальні дослідження на манекені [4] показали, як розподіляється електричне поле на тілі людини в неспотвореному електричному полі напруженістю $E = 5$ кВ/м. Манекен представляв собою пластмасову ляльку висотою 174 см, облиту електропровідною тканиною з провідністю близькою до провідності тіла людини. Заземлений манекен розміщували в неспотвореному електричному полі за конфігурацією близькою до тієї, у якій виконували медико-біологічні випробування в процесі розробки чинних гігієнічних нормативів. Вимірювання проводили градієнтметром.

Представлені в [4] результати показують, що максимальне підсилення поля має місце у верхній частині голови, де виміряне значення напруженості електричного поля становить 75 кВ/м. Це є допустимим, оскільки зовнішнє поле відповідає гігієнічним нормативам. Отже,

згідно з [4], допустима напруженість у верхній частині голови $E_{дон} = 75$ кВ/м і тривалість перебування в зоні впливу не обмежені.

Голову людини моделюватимемо кулею, радіус якої можна визначити, виходячи із розмірів головних уборів: $2\pi r_{\Gamma} = 55 \div 60$ см, тому

$$r_{\Gamma} = \frac{55 \div 60}{6,28} = 8,75 \div 9,55 \text{ см.}$$

Об'єм кулі радіусом r_{Γ} становить

$$\begin{aligned} V_{\Gamma} &= \frac{4}{3} \pi r_{\Gamma}^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot [(8,75 \div 9,55) \cdot 10^{-2}]^3 = (2,7915 \div 3,6448) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = \\ &= (2,7915 \div 3,6448) \text{ дм}^3. \end{aligned} \quad (1)$$

Енергію електричного поля, яка перетворюється в тепло в голові, визначають за формулою:

$$\begin{aligned} W_{EP} &= E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon V_{\Gamma} \cdot t_{експозиції} = \\ &= E^2 \cdot 314 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot (2,7915 \div 3,6448) \cdot 10^{-3} \cdot t_{експ.} = \\ &= E^2 \cdot t_{експ.} \cdot (6,278 \div 8,209) \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot \text{с} \text{ (Дж)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Ця енергія перетворюється в тепло і призводить до зростання температури.

Кількість тепла, яку поглинає голова для зміни її температури від нормальної $36,6$ °С до небезпечної $43,6$ °С визначають за формулою

$$\delta Q = C_p \cdot V_{\Gamma} \cdot dT, \quad (3)$$

де C_p – питома теплоємність голови, $C_p = 4,182 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $V_{\Gamma} = 2,79 \div 3,64$ кг; $dT = 43,6 - 36,6 = 7$ °С.

Після підстановки в (3) отримаємо:

$$\delta Q = 4,182 \cdot (2,79 \div 3,64) \cdot 7 \cdot 10^3 \text{ Дж} = (81,67 \div 106,55736) \text{ кДж}.$$

Умову безпеки для перебування голови людини в сильному електричному полі можна записати нерівністю:

$$\begin{aligned} E^2 \cdot t_{експ.} (6,278 \div 8,209) \cdot 10^{-10} &\geq 106,55 \cdot 10^3; \\ E^2 \cdot t_{експ.} &\geq \frac{106,55 \cdot 10^3}{(6,278 \div 8,209) \cdot 10^{-10}}; \\ E^2 \cdot t_{експ.} &\geq (13,00 \div 12,979) \cdot 10^{13}; \\ t_{експ.} &\geq \frac{13 \cdot 10^{13}}{E^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $t_{експ.}$ – тривалість перебування людини в зоні впливу, с; E – напруженість електричного поля, В/м.

У таблиці 1 наведено результати розрахунків за формулою (4).

Таблиця 1

$E, \text{В/м}$	$(k_n \cdot E)^2, \text{В}^2/\text{м}^2$	$t_{\text{експ.}}, \text{с}$	$t_{\text{експ.}}, \text{ХВ.}$	$t_{\text{експ.}}, \text{ГОД.}$
1	$225 \cdot 10^6 = 2,25 \cdot 10^8$	577777	9629	160
2	$9 \cdot 10^8$	144444	2407	40
3	$2,025 \cdot 10^9$	64197	1070	17,8
3,5	$2,756 \cdot 10^9$	47170	786	13,1
4	$3,6 \cdot 10^9$	36111	600	10
5	$5,625 \cdot 10^9$	23111	385	6,4
6	$8,1 \cdot 10^9$	16049	267,5	4,46
7	$11,025 \cdot 10^9$	11791	196,5	3,275
10	$2,25 \cdot 10^{10}$	5777	96	1,6
8	$1,44 \cdot 10^{10}$	9027,8	150,46	2,5
9	$1,8225 \cdot 10^{10}$	7133	118,9	1,98
14	$4,41 \cdot 10^{10}$	2947	49,13	0,819
11	$2,7225 \cdot 10^{10}$	4083	68,05	1,134
12	$3,24 \cdot 10^{10}$	4012	66,87	1,11
15	$5,0625 \cdot 10^{10}$	2567,9	42,8	0,713
13	$3,8025 \cdot 10^{10}$	3418	57,0	0,949
16	$5,76 \cdot 10^{10}$	2257	37,6	0,627
17	$6,5025 \cdot 10^{10}$	2000	33,32	0,555
18	$7,29 \cdot 10^{10}$	1783	29,72	0,495
19	$8,1225 \cdot 10^{10}$	1600	26,67	0,444
20	$9 \cdot 10^{10}$	1444	24,0	0,4
21	$9,9225 \cdot 10^{10}$	1310	21,8	0,36
22	$10,89 \cdot 10^{10}$	1193	19,896	0,33
23	$11,9025 \cdot 10^{10}$	1092	18,2	0,3
24	$12,96 \cdot 10^{10}$	1003	16,7	0,278
25	$14,0625 \cdot 10^{10}$	924	15,4	0,2568
30	$20,25 \cdot 10^{10}$	642	10,7	0,178

Отриманий вираз (4) урахує спотворення людиною рівномірного електричного поля [1], конкретні розміри голови людини, питому теплоємність речовини в голові людини, елементарну кількість теплоти для зміни температури в голові від 36,6 °С до 43,6 °С, синхронну частоту електричної системи, діелектричну проникність речовини в голові людини.

Порівняння припустимої тривалості перебування людини в зоні впливу електрообладнання високої напруги [1, 2, 3] і тієї, що пропонується за результатами наших розрахунків, представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Напруженість електричного поля, кВ/м	Тривалість, год.			
	ГОСТ 12.1.002-75	ГОСТ 12.1.002-84	Запропоновані в [3], год.	Запропоновані авторами, год.
5	3 години	8 годин	8 годин	6,4
10	3 години	3 години	2 години	1,6
15	1,5 години	1,3 години	0,9 години	0,713
20	10 годин	30 хвилин	30 хвилин	0,444
25	5 годин	10 хвилин	18 хвилин	0,25

Висновок

Запропоновано методика визначення допустимої тривалості перебування людини в зоні впливу електротехнічних установок високої напруги залежно від напруженості електричного поля, що дозволяє точніше визначити рівень безпеки для експлуатаційного та ремонтного персоналу електричних систем та мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологические карты производства работ под напряжением на ВЛ 220-750 кВ / [под ред. Е. И. Удада]. – Киев: «Техника», 1988. – 200 с.
2. Основи охорони праці : підручник / [Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін.] ; за ред. К. Н. Ткачука, М. О. Халімовського. – К. : Основа, 2006. – 448 с.
3. Бондаренко Є. А. Нормування електромагнітного поля промислової частоти / Є. А. Бондаренко, М. В. Короленко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 72 – 74.
4. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах: ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. – [Введен 1986-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 5 с.

Собчук Валерій Степанович – професор кафедри електричних станцій та систем.

Собчук Наталія Валеріївна – доцент кафедри електричних станцій та систем.

Слободянюк Олена Валеріївна – старший викладач кафедри інженерної та комп'ютерної графіки. Вінницький національний технічний університет.