

УДК 658.382.3

В. С. Собчук, к. т. н., проф.; Н. В. Собчук, к. т. н., доц.; Е. В. Слободянюк, к. п. н.**НОРМИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРЕБЫВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЗОНЕ
ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТАНОВОК
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ**

Предложена методика нормирования длительности пребывания человека в зоне влияния электрического поля высоковольтных установок промышленной частоты с учетом энергии, которая поглощается головой человека и повышает температуру с 36,6 °С до 43,6 °С.

Ключевые слова: человек в сильном электрическом поле; продолжительность безопасного пребывания; допустимая температура головы.

Введение

Эффективную защиту оперативного и ремонтного персонала, обслуживающего открытые распределительные устройства подстанций и воздушные линии электропередачи от разрушительного действия электрического поля промышленной частоты можно обеспечить соблюдением допустимых расстояний приближения, ограничением длительности пребывания в зоне влияния, экранирующими устройствами для конкретных рабочих мест.

Вопрос о степени разрушительного действия электрического поля на человека стал актуальным после введения в работу высоковольтного оборудования напряжением 400 (500) кВ.

Первые нормы длительности пребывания человека в сильном электрическом поле промышленной частоты в зависимости от НЭП в зоне влияния приведены в ГОСТ 12.1.002-75. Позже на основании результатов медико-биологических исследований действия НЭП на человека были установлены новые нормы, которые приведены в ГОСТ 12.1.002-84 и ДСанПиП 3.3.6.096-2002 [1].

Недостатком этих стандартов является то, что они не в полной мере учитывают параметры конкретного человека, который находится в сильном электрическом поле, и взаимосвязь с количеством энергии ЭП, которая поглощается телом человека.

Очередной шаг в решении этой проблемы сделан авторами в [3], где получена формула, учитывающая зависимость допустимой длительности пребывания оперативного персонала в сильном ЭП от количества допустимой энергии, которое поглощается телом человека, НЭП и конкретные параметры человека.

Результаты исследования

Авторы этой статьи предлагают несколько иной подход к нормированию длительности пребывания человека в зоне влияния действующего электрооборудования, который основан на определении критической энергии, которая поглощается во время нахождения в сильном электрическом поле не всем телом, а только головой.

Экспериментальные исследования на манекене [4] показали, как распределяется электрическое поле на теле человека в неискаженном электрическом поле напряженностью $E = 5$ кВ/м. Манекен представлял собой пластмассовую куклу высотой 174 см, облитую электропроводной тканью с проводимостью близкой к проводимости тела человека. Заземленного манекена размещали в неискаженном электрическом поле по конфигурации близкой к той, в которой выполняли медико-биологические испытания в процессе разработки действующих гигиенических норм. Измерения проводили градиентометром.

Представленные в [4] результаты показывают, что максимальное усиление поля имеет

место в верхней части головы, где измеренное значение напряженности электрического поля составляет 75 кВ/м. Это является допустимым, поскольку внешнее поле соответствует гигиеническим нормативам. Таким образом, согласно [4], допустимая напряженность в верхней части головы $E_{\text{доп}} = 75$ кВ/м и длительность пребывания в зоне влияния не ограничены.

Голову человека смоделируем шаром, радиус которого можно определить, выходя из размеров головных уборов: $2\pi r_{\Gamma} = 55 \div 60$ см, поэтому

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

Объём шара радиусом r_{Γ} составляет

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

Энергию электрического поля, которая превращается в тепло в голове, определяют по формуле:

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

Эта энергия превращается в тепло и приводит к росту температуры.

Количество тепла, которое поглощает голова для изменения ее температуры от нормальной 36,6 °С к опасной 43,6 °С определяют по формуле

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

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

После подстановки в (3) получим:

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

Условие опасности для пребывания головы человека в сильном электрическом поле можно записать неравенством:

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

где $t_{эксн.}$ – продолжительность пребывания человека в зоне влияния, с; E – напряженность электрического поля, В/м.

В таблице 1 приведены результаты расчетов по формуле (4).

Таблица 1

$E, \text{В/м}$	$(k_n \cdot E)^2, \text{В}^2/\text{м}^2$	$t_{эксн.}, \text{с}$	$t_{эксн.}, \text{мин.}$	$t_{эксн.}, \text{час.}$
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

Полученное выражение (4) учитывает искажение человеком равномерного электрического поля [1], конкретные размеры головы человека, удельную теплоемкость вещества в голове человека, элементарное количество теплоты для изменения температуры в голове от 36,6 °С до 43,6 °С, синхронную частоту электрической системы, диэлектрическую проницаемость вещества в голове человека.

Сравнение допустимой длительности пребывания человека в зоне влияния электрооборудования высокого напряжения из источника [1, 2, 3] и той, которая предлагается по результатам наших расчетов, представлено в таблице 2.

Таблица 2

Напряженность электрического поля, кВ/м	Продолжительность, час.			
	ГОСТ 12.1.002-75	ГОСТ 12.1.002-84	Предложенные в [3], час.	Предложенные авторами, час.
5	3 часа	8 часов	8 часов	6,4
10	3 часа	3 часа	2 часа	1,6
15	1,5 часа	1,3 часа	0,9 часа	0,713
20	10 минут	30 минут	30 минут	0,444
25	5 минут	10 минут	18 минут	0,25

Вывод

Предложенная методика определения допустимой длительности пребывания человека в зоне влияния электротехнических установок высокого напряжения в зависимости от Наукові праці ВНТУ, 2012, № 4

напряженности электрического поля, которое позволяет точнее определить уровень безопасности для эксплуатационного и ремонтного персонала электрических систем и сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 Валерий Степанович – профессор кафедры электрических станций и систем.

Собчук Наталия Валерьевна – доцент кафедры электрических станций и систем.

Слободянюк Елена Валерьевна – старший преподаватель кафедры инженерной и компьютерной графики.

Винницкий национальный технический университет.