

## ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПО ФАКТОРУ «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ»

И.С. Окраинская

В статье приведены результаты расчета величины профессионального риска по фактору «электрическое поле промышленной частоты» для персонала Центрального (ранее Ханты-Мансийского) предприятия магистральных электрических сетей. Расчет выполнен на основе логико-вероятностной модели вероятности повреждения здоровья работников. Вероятности некоторых событий логико-вероятностной модели были определены на основе данных, полученных в результате экспериментального исследования распределения напряженности электрического поля на открытых распределительных устройствах подстанций напряжением 500 кВ, указанного предприятия. Для учета вреда, наносимого пребыванием в зонах различной напряженности электрического поля, были использованы специальные коэффициенты, определенные на основе кривой предельно допустимого времени нахождения в электрическом поле промышленной частоты. Сделаны выводы о факторах, определяющих величину профессионального риска для персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения.

*Ключевые слова:* профессиональный риск, электрическое поле, открытое распределительное устройство 500 кВ, обслуживающий персонал.

### Введение

В настоящее время в качестве одного из основных элементов Программы действий по улучшению условий и охраны труда в РФ, принятой на федеральном уровне, называется внедрение системы управления профессиональными рисками. Под профессиональным риском понимается вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных Трудовым кодексом, другими федеральными законами [1].

### Основная часть

Оценка величины профессионального риска по фактору «электрическое поле промышленной частоты» для персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения, может быть выполнена при помощи логико-вероятностной модели (см. рисунок) и экспериментальных данных об исследовании распределения зон различной напряженности электрического

поля на территории открытого распределительно-го устройства.

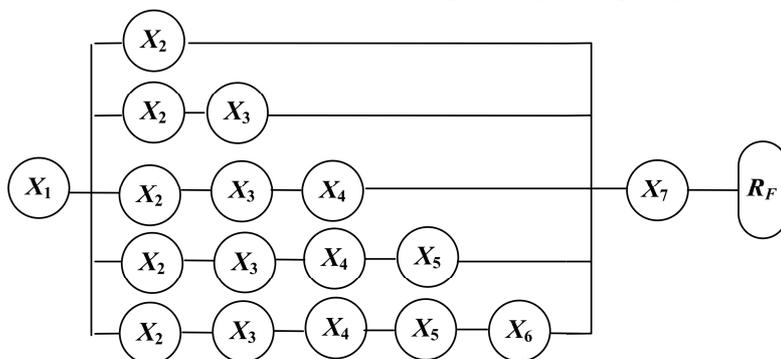
Математическая сущность логико-вероятностного метода заключается в использовании функций алгебры логики для аналитической записи условий безопасности системы и в разработке строгих способов перехода от функций алгебры логики к вероятностным функциям, объективно выражающим безопасность системы.

Логическая запись, соответствующая модели на рис. 1, имеет вид

$$R_F = X_1 \wedge (X_2 \vee (X_2 \wedge X_3) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge X_4) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge X_5) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge X_5 \wedge X_6)) \vee X_7. \quad (1)$$

Модель, отражающая процесс возникновения профессионального риска при работе с электроустановками сверхвысокого напряжения (ЭУ СВН), включает 8 событий, которые могут быть разделены на следующие группы:

- событие, связанное с организацией работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования ( $X_1$  – вероятность выполнения работ на территории открытого распределительного устройства);



Логико-вероятностная модель оценки профессионального риска по фактору «электрическое поле промышленной частоты» для работников, обслуживающих электроустановки сверхвысокого напряжения

- события, отражающие возможность неблагоприятного воздействия электрического поля на персонал (5 элементов модели от  $X_2$  до  $X_6$ :  $X_2$  – возможность неблагоприятного воздействия на здоровье работника в зоне с напряженностью электрического поля от 5 до 10 кВ/м;  $X_3$  – в зоне с напряженностью от 10 до 15 кВ/м;  $X_4$  – в зоне с напряженностью поля от 15 до 20 кВ/м;  $X_5$  – в зоне с напряженностью поля от 20 до 25 кВ/м;  $X_6$  – в зоне с напряженностью более 25 кВ/м);

- событие, связанное с использованием работником средств индивидуальной защиты ( $X_7$  – нахождение вблизи электроустановки сверхвысокого напряжения без средств индивидуальной защиты (экранирующих комплектов));

- $R_F$  – конечное событие (профессиональный риск по фактору «электрическое поле промышленной частоты»).

Вероятность элемента  $X_1$  для различных категорий работников может быть найдена при помощи анализа длительности выполнения работ на территории открытого распределительного устройства по следующей формуле

$$P_1 = t_{ОРУ} / T_{общ} \quad (2)$$

где  $t_{ОРУ}$  – время выполнения различных работ на территории открытого распределительного устройства;  $T_{общ}$  – среднегодовой баланс рабочего времени для рассматриваемой профессиональной группы.

Для дежурного персонала подстанции эта вероятность может быть определена следующим образом: на открытых распределительных устройствах подстанции дежурный персонал проводит осмотры оборудования и сооружений, оперативные переключения, подготовку рабочих мест для ремонтного персонала, наблюдение за выполнением отдельных видов работ. Средняя продолжительность работ на открытом распределительном устройстве составляет около 1,0–1,5 часов за смену. Оперативный персонал работает сменами по 12 часов. Таким образом, вероятность нахождения на открытом распределительном устройстве предста-

вителей дежурного персонала, определенная по формуле (1), составляет от 0,083 до 0,13. Примем в расчете максимальное значение, как обеспечивающее наибольший риск для персонала.

Наиболее сложно определить вероятность нахождения работника вблизи электроустановки сверхвысокого напряжения без средств индивидуальной защиты (экранирующих комплектов). Несмотря на то, что все сотрудники предприятий электрических сетей, выполняющие работы в зоне влияния электрического поля, в обязательном порядке обеспечиваются экранирующими комплектами для защиты от электрического поля, персонал довольно часто пренебрегает использованием экранирующих комплектов. На основании наблюдений за работой дежурного персонала мы оцениваем частоту их использования как 10...20 %, а вероятность события  $X_7$  как 0,8...0,9. Примем для дальнейших расчетов вероятность события  $X_7$  равной 0,85.

Вероятности элементов ( $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ ), связанных с возможностью возникновения неблагоприятного воздействия на человека в зонах различной напряженности электрического поля, могут быть определены на основе результатов экспериментального исследования распределения напряженности электрического поля на ОРУ [2].

Результаты экспериментальных исследований оформляются в виде карт распределения напряженности электрического поля. Расчеты, выполненные по картам распределения напряженности электрического поля для подстанций напряжением 500 кВ Центрального предприятия магистральных электрических сетей МЭС Западной Сибири, приведены в табл. 1.

Для подстанций площади зон различной напряженности электрического поля различны. Их величина варьируется в зависимости от большого числа факторов, возникающих как на этапе строительства, так и при эксплуатации распределительного устройства.

Таблица 1

Распределение напряженности электрического поля на территории ОРУ 500 кВ подстанций Центрального предприятия МЭС Западной Сибири

Наименование подстанции	Доля территории ОРУ, %, где напряженность электрического поля лежит в диапазоне					
	менее 5 кВ/м	от 5 до 10 кВ/м	от 10 до 15 кВ/м	от 15 до 20 кВ/м	от 20 до 25 кВ/м	более 25 кВ/м
Белозерная	18,44	15,92	2,36	0,16	0	0
Ильково	19,58	14,22	4,12	0,51	0,73	0
Кустовая	18,63	12,23	5,56	0,7	0,11	0,03
Луговая	21,67	14,61	6,4	0,64	0,02	0
Магистральная	50,22	22,74	22,91	4,19	0,31	0,07
Пыть-Ях	40,01	19,78		3,78	0,13	0,04
Сибирская	26,50	22,04	4,39	0,07	0	0
Сомкино	32,97	11,73	18,27	2,97	0	0
Трачуковская	22,68	18,43	3,75	0,44	0,06	0
Средние значения	27,87	16,86	9,34	1,5	0,15	0,02

Значения вероятностей элементов логической модели оценки возможности неблагоприятного воздействия электрического поля на работника

Название подстанции	Номер элемента модели							
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	R <sub>F</sub>
Белозерная	1,3·10 <sup>-1</sup>	8,6·10 <sup>-2</sup>	2,0·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-3</sup>	0	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	9,67·10 <sup>-3</sup>
Ильково	1,3·10 <sup>-1</sup>	7,7·10 <sup>-2</sup>	3,5·10 <sup>-2</sup>	4,8·10 <sup>-3</sup>	7,2·10 <sup>-3</sup>	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	8,76·10 <sup>-3</sup>
Кустовая	1,3·10 <sup>-1</sup>	6,6·10 <sup>-2</sup>	4,7·10 <sup>-2</sup>	6,7·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	3,0·10 <sup>-4</sup>	8,5·10 <sup>-1</sup>	7,62·10 <sup>-3</sup>
Луговая	1,3·10 <sup>-1</sup>	7,9·10 <sup>-2</sup>	5,4·10 <sup>-2</sup>	6,1·10 <sup>-3</sup>	2,0·10 <sup>-4</sup>	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	9,16·10 <sup>-3</sup>
Пыть-Ях	1,3·10 <sup>-1</sup>	1,1·10 <sup>-1</sup>	1,4·10 <sup>-1</sup>	3,6·10 <sup>-2</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	4,0·10 <sup>-4</sup>	8,5·10 <sup>-1</sup>	13,3·10 <sup>-3</sup>
Сибирская	1,3·10 <sup>-1</sup>	1,2·10 <sup>-1</sup>	3,7·10 <sup>-2</sup>	6,7·10 <sup>-4</sup>	0	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	13,6·10 <sup>-3</sup>
Сомкино	1,3·10 <sup>-1</sup>	6,3·10 <sup>-2</sup>	1,6·10 <sup>-1</sup>	2,8·10 <sup>-2</sup>	0	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	8,05·10 <sup>-3</sup>
Трачуковская	1,3·10 <sup>-1</sup>	1,0·10 <sup>-1</sup>	3,2·10 <sup>-2</sup>	4,2·10 <sup>-3</sup>	5,9·10 <sup>-4</sup>	0	8,5·10 <sup>-1</sup>	11,3·10 <sup>-3</sup>
Средние значения	1,3·10 <sup>-1</sup>	9,1·10 <sup>-2</sup>	7,9·10 <sup>-2</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-3</sup>	2,0·10 <sup>-4</sup>	8,5·10 <sup>-1</sup>	10,7·10 <sup>-3</sup>

Если считать, что при своем перемещении по территории ОРУ работник случайным образом попадает в зоны различной напряженности, тогда:

$$P_i = \frac{S_{E_j \div E_{j+5}}}{S_{ОРУ}} \cdot R(\Delta t), \quad (4)$$

где  $i \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$ ;  $S_{E_j \div E_{j+5}}$  – площадь зоны напряженностью от  $E_j$  до  $E_{j+5}$ ;  $j \in \{0, 5, 10, 15, 20, 25\}$ ;  $S_{ОРУ}$  – площадь открытого распределительного устройства;  $R(\Delta t)$  – коэффициент, учитывающий степень вредного воздействия электрического поля промышленной частоты в зоне напряженностью от  $E_j$  до  $E_{j+5}$ . Подробно определение коэффициента, учитывающего степень вредного воздействия электрического поля различной напряженности, рассмотрено в [2, 3].

В расчете, выполненном в данной статье, нами были приняты следующие значения  $R(\Delta t)$ : для зоны с напряженностью электрического поля от 5 до 10 кВ/м коэффициент составляет 0,54; для зоны с напряженностью от 10 до 15 кВ/м – 0,85; для зоны с напряженностью от 15 до 20 кВ/м – 0,95; для зоны с напряженностью от 20 до 25 кВ/м – 0,99; для зоны с напряженностью более 25 кВ/м – 1.

Вероятность конечного события в логической модели (см. рисунок) рассчитывается с использованием теорем умножения вероятностей для последовательно соединенных элементов и теорем сложения вероятностей для элементов, включенных в модель параллельно.

Применяя правила редукции для каждой пары параллельно соединенных элементов, получаем формулу для вычисления величины профессионального риска для работника:

$$R_F = P_1(1 - (1 - P_2)(1 - P_2P_3)(1 - P_2P_3P_4) \times (1 - P_2P_3P_4P_5)(1 - P_2P_3P_4P_5P_6))P_7, \quad (3)$$

где  $R_F$  – величина профессионального риска,  $P_i$  – вероятности событий модели.

Исходные вероятности расчета и значения риска  $R_F$  приведены в табл. 2.

### Заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что основной вклад в формирование профессионального риска по фактору «Электрическое поле промышленной частоты» вносят зоны с напряженностью электрического поля от 5 до 10 кВ/м и от 10 до 15 кВ/м. Именно эти зоны занимают основную часть (от 90 % – подстанция Магистральная до 99 % – подстанции Сибирская и Белозерная) зоны влияния электрического поля (той территории, где напряженность электрического поля превышает 5 кВ/м) на территории ОРУ напряжением 500 кВ. С точки зрения автора, это свидетельствует об адекватности предложенной модели определения профессионального риска реальным условиям. Полученная величина профессионального риска лежит в пределах от  $7,6 \cdot 10^{-3}$  для подстанции Кустовая до  $15,5 \cdot 10^{-3}$  для подстанции Магистральная.

### Литература

1. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ: [по состоянию на 29 декаб. 2012 г.] // Официальный интернет-портал правовой информации / Гос. система правовой информ. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102129600&backlink=1&&nd=102073987>. Дата обращения: 19 марта 2013 г.
2. Сидоров, А.И. Электромагнитные поля вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: монография / А.И. Сидоров, И.С. Краинская. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 204 с.
3. Краинская, И.С. О логико-вероятностном моделировании для оценки вероятностей вредного воздействия на человека опасных техногенных факторов / И.С. Краинская, О.В. Номоконова, А.И. Сидоров // Технологии техносферной безопасности. Интернет-журнал. – 2012. – Вып. 1 (41). – <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1>.

Окраинская Ирина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: 8-(351) 267-96-26, okrainskaya@yandex.ru

*Bulletin of the South Ural State University  
Series "Power Engineering"  
2013, vol. 13, no. 2, pp. 32–35*

## ESTIMATION OF PROFESSIONAL RISK FROM THE FACTOR “LECTRIC FIELD OF INDUSTRIAL FREQUENCY”

*I.S. Okrainskaya, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
okrainskaya@yandex.ru*

The article presents the results of calculation of the professional risk value from the factor “electric field of industrial frequency” for the personnel of the Central (formerly the Khanty-Mansiysk) Main Power Transmission Line Company (PMES). This calculation was performed using the logical-probability model. The probability of certain events of this model were determined based on data derived from experimental studies of the electric field distribution on the open distribution 500 kV substations, of the company mentioned earlier. Special coefficients have been used to account the harmful effects for human present in areas of varying electric field. Special coefficients have been determined on the basis of the curve of maximum allowable time spent in the electric field of industrial frequency. The author points out the factors that determine the professional risk to personnel operating extra high voltage electrical equipment.

*Keywords: professional risk, electric field, open distributive substation 500 kV, personnel.*

### References

1. *The Labor Code of the Russian Federation from 30.12.2001 no. 197-FZ* [as at 29 Decem. 2012] [Trudovoy Kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 30.12.2001 197-FZ] Available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102129600 &backlink=1&&nd=102073987> (accessed March 19, 2013)
2. Sidorov A.I., Okrainskaya I.S. *Elektromagnitnye polya elektroustanovok sverkh vysokogo napryazheniya* [Electromagnetic Fields near Electrical Extra High Voltage]. Chelyabinsk, 2008. 204 p.
3. Okrainskaya, I.S., Nomokonova O.V, Sidorov A.I. About the Logical-Probabilistic Simulation to Estimate the Probability of Harmful Effects on Humans of Dangerous Anthropogenic Factors [O logiko-veroyatnostnom modelirovanii dlya otsenki veroyatnosti vrednogo vozdeistviya na cheloveka opasnich technogennich faktorov], *Technologii technosphernoy bezopasnosti [Technology Technosphere Safety]*, 2012. no. 1 (41), Available at : <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1>.

*Поступила в редакцию 10.03.2013 г.*