

УДК 621.311

О.В. Маслеева, Р.Ш. Бедретдинов, Н.И. Эрдили

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье приводятся результаты исследования воздействия электромагнитного поля на оперативный персонал при обслуживании ПС напряжением 110, 220, 330 кВ с силовыми трансформаторами мощностью 6,3-1000 МВА. Приведена методика расчета напряженности электрического поля и допустимые нормы. Получены кривые распределения напряженности электрического поля при различной высоте ошиновки. Определены опасные зоны на территории электрических подстанций с повышенной величиной напряженности электрического поля для обслуживающего персонала.

Ключевые слова: электрическая подстанция, электромагнитное поле, оперативный персонал, допустимые нормы, санитарная зона.

Единая электроэнергетическая система (ЕЭС) России является уникальным организационно-техническим объектом, который обеспечивает сбалансированное единство генерации, передачи, распределения и потребления электрической энергии, гарантируя энергетическую безопасность регионов и страны в целом. Основными структурными элементами ЕЭС России являются линии электропередачи (ЛЭП) и электрические подстанции (ПС).

ПС предназначены для приема, преобразования и распределения электроэнергии и состоят из силовых трансформаторов, распределительных устройств, систем телемеханики, телеуправления и телесигнализации. ПС выполняются на напряжения 35, 110, 220 кВ и выше до 1150 кВ. На рис. 1 показано распределение ПС по классам напряжения.

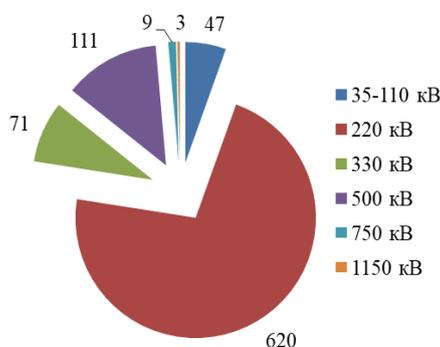


Рис. 1. Структура ПС ПАО «Россети» по классам напряжения

Одной из важнейших задач электроэнергетики является обеспечение безопасности эксплуатации объектов электросетевого комплекса. Ввиду того, что более половины ЛЭП и ПС относятся к напряжениям 110-330 кВ оценка электромагнитного поля (ЭМП), воздействующего на персонал, проводилась именно для данных классов напряжения. Оценка опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего высоковольтные установки, производится по ГОСТ 12.0.003-2015. Одним из основных производственных факторов физической природы являются ЭМП промышленной частоты. Согласно ПУЭ [8], безопасность обслуживающего персонала должна обеспечиваться выполнением мер защиты от поражения электрическим током и снижением напряженности

электрических и магнитных полей до допустимых значений. Эксплуатация систем электропитания также должна соответствовать нормативным требованиям по охране окружающей среды.

Целью исследований является оценка показателей интенсивности воздействия ЭМП на ПС для определения наиболее безопасных зон на территории ОРУ с точки зрения минимального воздействия ЭМП. В дальнейшем это позволит составить наиболее оптимальные безопасные пути обхода территории ПС обслуживающим персоналом с учетом величины напряженности ЭМП.

Источники электромагнитного поля на ПС

Источниками ЭМП промышленной частоты на ПС являются силовые трансформаторы, высоковольтные разъединители, выключатели, гибкая и жесткая ошиновка, воздушные линии (рис. 2). При обходе территории ОРУ в процессе эксплуатации высоковольтного оборудования основным источником ЭМП является ошиновка, проходящая по территории ОРУ до силовых трансформаторов.



Рис. 2. Источники ЭМП на ПС

Воздействие ЭМП промышленной частоты на человека

ЭМП наносит вред человеку и окружающей природной среде – этот факт подтвержден Всемирной организацией здравоохранения, министерствами здравоохранения всех развитых стран, многочисленными научными исследованиями. Международный электромагнитный проект Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) был создан для научного разьяснения потенциальных последствий воздействия электрических и магнитных полей на здоровье населения [1]. ЭМП всех частот представляют собой одно из наиболее распространенных и быстро растущих воздействий на окружающую среду и все группы населения мира. Была выражена озабоченность в связи с тем, что воздействие магнитных полей на частотах (50/60 Гц) может привести к увеличению заболеваемости лейкемии и другим неблагоприятным последствиям для здоровья. Проект поощряет целенаправленные исследования для заполнения важных пробелов в знаниях и содействия разработке приемлемых стандартов международного уровня, ограничивающих воздействие ЭМП и включить результаты исследований в критерии экологического здоровья, в которых будут проводиться официальные оценки риска для здоровья от воздействия ЭМП.

Согласно отчету ВОЗ об ультранизкочастотных полях, анализ исследований показал влияние ЭМП на нейроповедение, нейроэндокринную систему, нейродегенеративные расстройства, сердечно-сосудистые расстройства, иммунологию и гематологию, воспроизводство и развитие, онкологические заболевания; была проведена оценка риска для здоровья и были выделены острые и хронические биологические эффекты действия электрических и магнитных полей на человека. Согласно [2], ЭМП оказывает неблагоприятное влияние на организм и при определенных условиях может послужить предпосылкой к формированию патологических состояний среди населения, подвергающегося хроническому воздействию этого излучения. При обследовании персонала, обслуживающего ПС и воздушных линий напряжением 220, 330, 400 и 500 кВ, были отмечены изменения в здоровье [3]. При напряжении 500 кВ у персонала жалобы носили неврологический характер (утомляемость, раздражительность, головная боль, снижение памяти и внимания, тремор век и пальцев рук), а также жалобы были на сердечно-сосудистую систему (тахикардия, артериальная гипертензия или гипотония, нарушение ритма и частоты сердечных сокращений, нерезко выраженные изменения состава крови) и желудочно-кишечный тракт.

Результаты периодических медицинских осмотров работников, работающих в условиях ЭМП промышленной частоты (110 и 220 кВ), выявили отсутствие профессиональных заболеваний, но показали, что наибольший удельный вес занимают болезни системы кровообращения, затем болезни глаз, далее заболевания органов пищеварения [4].

Биологическое воздействие электрического поля проявляется при длительном систематическом пребывании человека в электрическом поле. Реакция человеческого организма проявляется через сравнительно большой период (2-3 месяца) и имеет выраженный кумулятивный эффект, сильную зависимость от индивидуальных особенностей организма [5]. Оно приводит к функциональным изменениям центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, изменению состава крови и другим патологическим изменениям.

Проведенные исследования [6] показали, что напряженность магнитного поля на территории ОРУ 500 практически в 2 раза ниже предельно-допустимого уровня (ПДУ). Анализ показал, что площадь зоны, напряженность которой превышает 5 кВ/м, составляет не более 40 % от всей территории ОРУ. Отмечено, что напряженность электрического поля возрастает между оборудованием и уменьшается при приближении к нему. В виду того, что на территории ПС напряженность магнитного поля имеет малые значения, основным фактором влияния ЭМП является воздействие напряженности электрического поля.

Нормирование напряженности электрического поля

В СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» приводятся допустимые величины электрического поля промышленной частоты (50 Гц) [7].

Допустимые нормы электрических полей частотой 50 Гц установлены по величине напряженности электрического поля и составляют на рабочем месте в течение всей смены 5 кВ/м. При напряженности электрического поля свыше 25 кВ/м работать необходимо с применением средств индивидуальной защиты. ПДУ электрических полей промышленной частоты в условиях населенных мест составляет:

- в населенной местности вне зоны жилой застройки – 5 кВ/м;
- в ненаселенной местности – 15 кВ/м.

На открытых распределительных устройствах (ОРУ) ПС в зонах пребывания обслуживающего персонала напряженность электрического поля должна быть в пределах допустимых уровней, установленных государственными стандартами.

Методика расчета электрического поля на территории ПС

В зоне действия высоковольтных установок потенциал человека относительно земли, а также ток, протекающий через человека, определяются вертикальной составляющей напряженности электрического поля [9]. Для расчета напряженности электрического поля на территории ПС использовали методику, изложенную в работах [10, 11]. Исходными данными для расчета являются: напряжение на высокой стороне ПС, расстояние между фазами, расстояние между осями блоков линия-трансформатор, высота от ошиновки до поверхности земли, марка провода.

Высота от расчетной точки до ошиновки рассчитывается по формуле:

$$h = H - H_{ч}$$

где H – высота подвеса ошиновки, м;

$H_{ч} = 1,7$ м (высота человека).

В качестве объекта исследований выбраны наиболее часто встречающиеся в эксплуатации двухтрансформаторные ПС 110-330 кВ мощностью 6,3-1000 МВА. Ошиновка ПС выполнена гибким проводом марки АС. Расчет выполнен с учетом минимальной высоты подвеса проводов и над дорогой. Начало координат и направление оси X показаны на плане ПС. Исходные данные представлены в табл. 1. Разрез ПС показан на рис. 3.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Напряжение, кВ	Мощность, МВА	Расстояние			Высота		Марка провода
		между осями блоков, м	межфазное, D , м	от оси блока до забора, м	min высота	над дорогой	
110	6,3	13	2,5	10	6	11	АС-70
110	10		2,5	10	6	11	АС-70
110	16		2,5	10	6	11	АС-70
110	25	14	2,5	10	6	11	АС-95
110	32		2,5	10	6	11	АС-120
110	40		2,5	10	6	11	АС-150
110	63	16	2,5	10	6	11	АС-240
110	80		2,5	10	6	11	АС-300
220	63	23	3	10	7	14	АС-240
220	80		3	10	7	14	АС-240
220	100		3	10	7	14	АС-240
220	125		3	10	7	14	АС-240
220	160	24	3	10	7	14	АС-400
220	200		3	10	7	14	АС-400
220	250		3	10	7	14	АС-2x240
220	400	26	3	10	7	14	АС-2x240
220	630	29	3	10	7	14	АС-2x400
220	1000	30	3	10	7	14	АС-2x400
330	125	25	4	10	8	16	АС-240
330	200		4	10	8	16	АС-400
330	250	26	4	10	8	16	АС-2x240
330	400		4	10	8	16	АС-2x240
330	630	27	4	10	8	16	АС-2x400
330	1000	30	4	10	8	16	АС-2x400

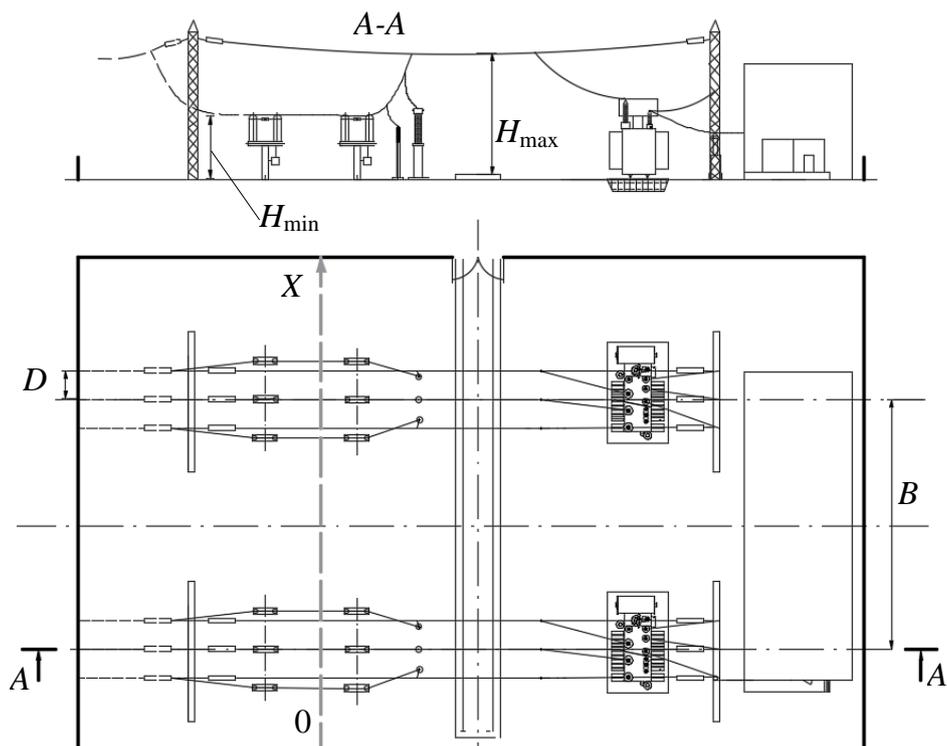


Рис. 3. План и разрез ПС

Ниже приведен расчет для ПС с напряжением 330 кВ. На подстанции установлены два силовых трансформатора мощностью по 1000 МВА. Расстояние между фазами – 4 м. Минимальная высота подвеса 8 м. Высота над дорогой 16 м. Ошиновка выполнена проводом АС 2х400. Расстояние между осями блоков 30 м.

Результаты расчета напряженности электрического поля приведены на рис. 4 для минимальной высоты подвеса провода, на рис. 5 – над дорогой.

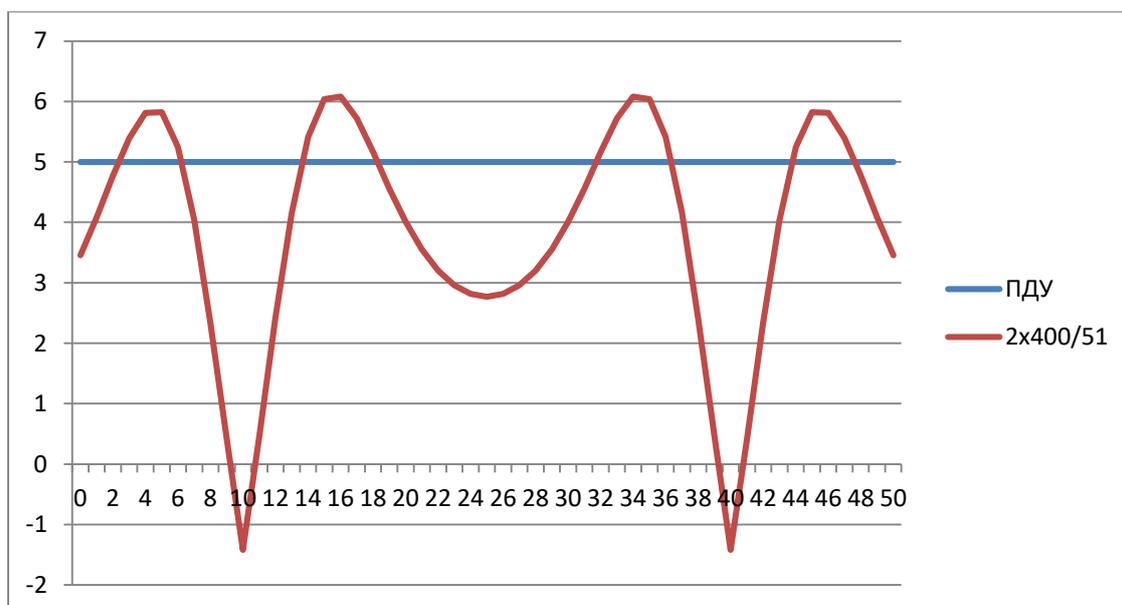


Рис. 4. Результаты расчета напряженности электрического поля для минимальной высоты подвеса

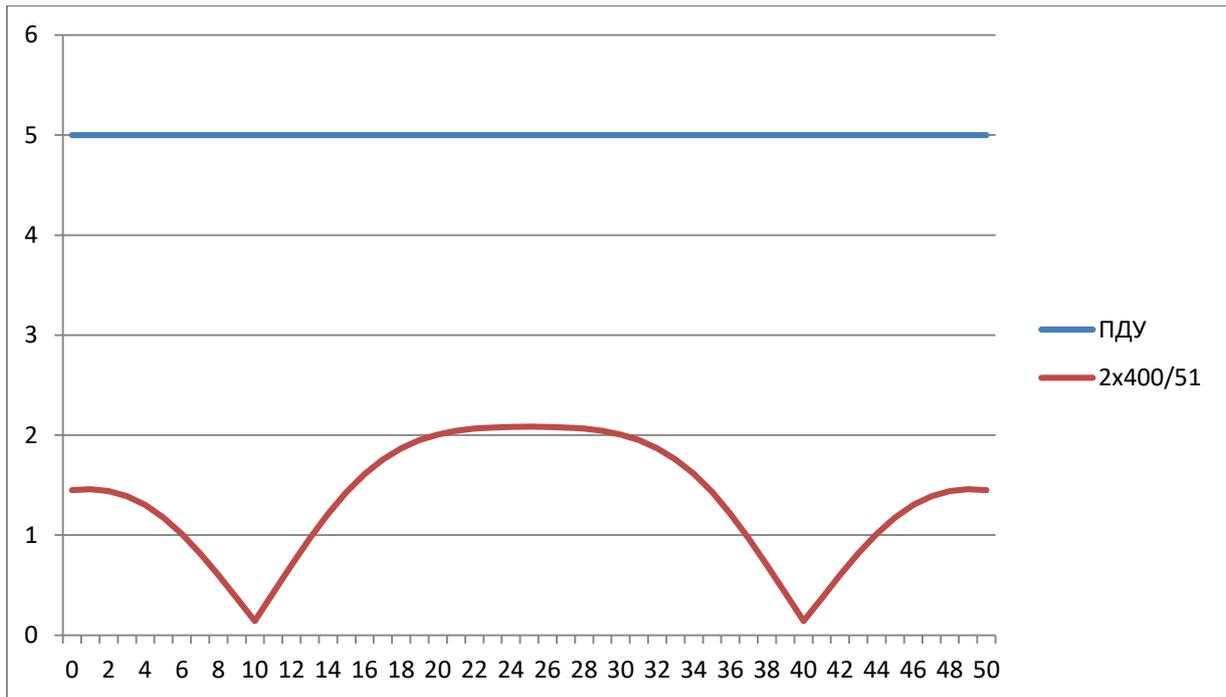


Рис. 5. Результаты расчета напряженности электрического поля над дорогой

В точках с координатами 10 и 40 находятся оси блоков линия-трансформатор.

Результаты расчета напряженности электрического поля в зависимости от мощности трансформаторов для напряжения 110, 220, 330 кВ приведены на рис. 6 для минимальной высоты подвеса провода, на рис. 7 – над дорогой.

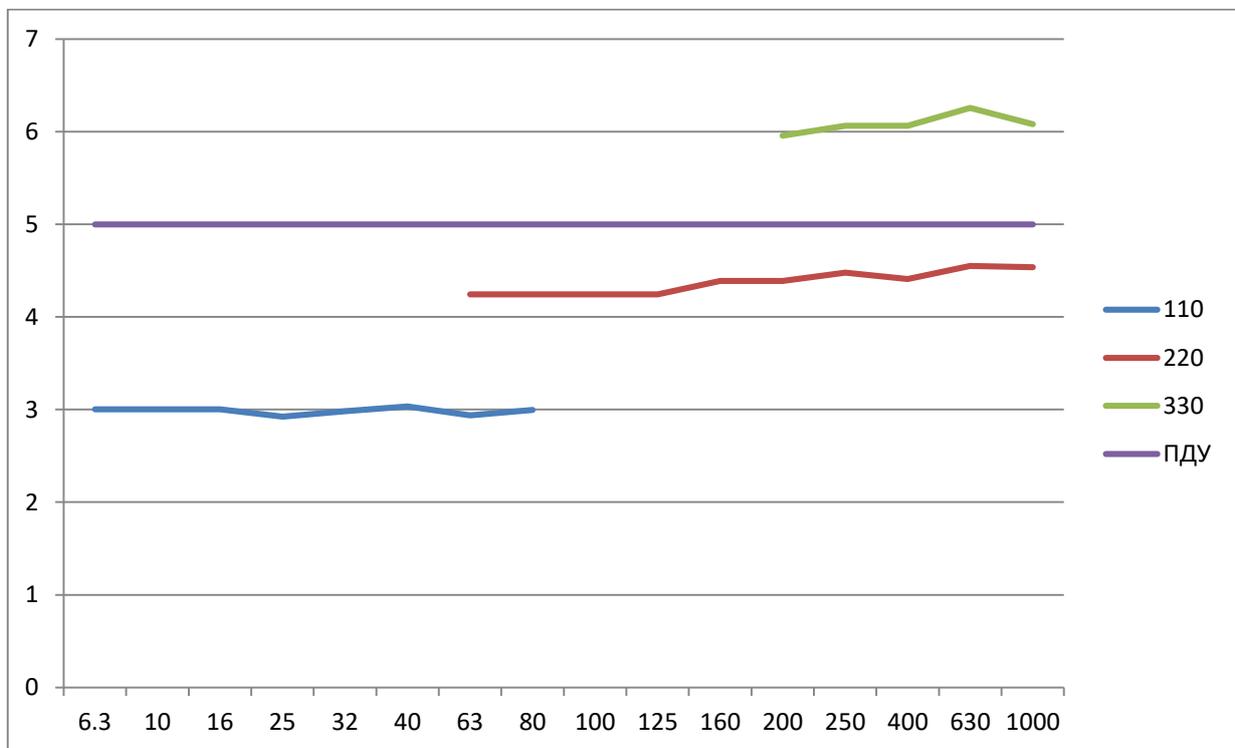


Рис. 6. Результаты расчета напряженности электрического поля в зависимости от мощности трансформаторов для напряжения 110, 220, 330 кВ для минимальной высоты подвеса

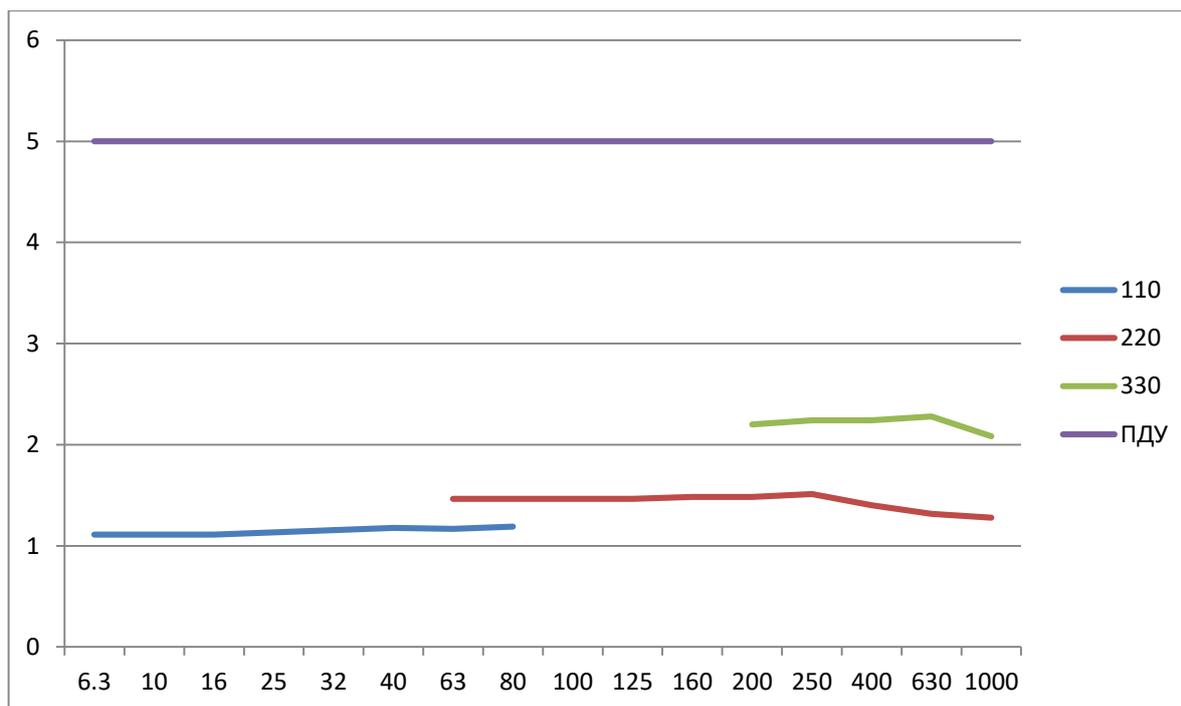


Рис. 7. Результаты расчета напряженности электрического поля в зависимости от мощности трансформаторов для напряжения 110, 220, 330 кВ над дорогой

Выводы:

- при напряжении 110 и 220 кВ напряженность электрического поля на всей территории ПС не превышает ПДУ, что обеспечивает безопасные условия труда;
- при напряжении 330 кВ для обеспечения безопасных условий труда по напряженности электрического поля допускается приближение на расстояние 4 м от крайней фазы, при меньшем расстоянии необходимо применение средств защиты;
- над дорогой при всех напряжениях обеспечена безопасность;
- напряженность электрического поля за внешним забором ПС не превышает ПДУ для населенной местности вне зоны жилой застройки, поэтому при расчете размера санитарной зоны этот параметр можно не учитывать.

Библиографический список

1. World Health Organization / Electromagnetic fields (EMF). – URL: http://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/en/ (дата обращения 04.09.2018).
2. Довгуша, В. В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В.В. Довгуша // Экология человека. – 2009. – № 12. – С.64.
3. Гигиена труда: учебник / под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. – М., 2010. – 592 с.
4. Панков, В.А. Оценка профессионального риска работников гидроэлектростанций, подвергающихся воздействию электромагнитного поля промышленной частоты / В.А. Панков, М.В. Кулешова // Бюллетень ВСНХ СО РАМН. – 2005. – № 8. – С. 148-150.
5. Электромагнитные поля в биосфере. В 2-х томах. Т. 1. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение / под ред. Н.В. Красногорской. – М.: Наука, 1984. – 376 с.
6. Шаврина, Н. А. Электромагнитная обстановка вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Н.А. Шаврина. – Челябинск, 2007. – 216 с.

7. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – Новосибирск: Норматика, 2017. – 68 с.
8. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2015. – 491 с.
9. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 488 с.
10. Александров, Г.Н. Передача электрической энергии / Г.Н. Александров. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 412 с.
11. Александров, Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды / Г.Н. Александров. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 357 с.

*Дата поступления
в редакцию: 16.10.2018*

O.V. Masleeva, R.Sh. Bedretdinov, N.I. Erdili

THE RESEARCH OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE DURING THE ELECTRICAL SUBSTATIONS MAINTENANCE

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alekseev

Purpose: The article deals with the problem of the safety of service personnel of 110, 220, 330 kV electrical substations according to one of the main harmful production factors of a physical nature. This includes the electromagnetic field of industrial frequency.

Design/methodology/approach: The authors have developed a method for calculating the electric field strength across the substation. The location of the power equipment, the height of the busbar suspension and the power of a capacity transformers are taken into account.

Findings: it was found that at the 110 and 220 kV substations the electric field strength throughout the substation does not exceed the remote control. This ensures safe working conditions. At a voltage of 330 kV, an approximation of 4 m from the extreme phase is allowed. With a smaller distance is necessary to use protective equipment. The electric field strength beyond the external fence of the substation does not exceed the remote control for a populated area outside the residential area. Therefore, when calculating the size of the sanitary zone, this parameter can be ignored.

Research limitations/implications: The present study was conducted for 110, 220, 330 kV substations with two power transformers with a capacity from 6.3 to 1000 MVA as the most frequently used in operation.

Originality/value: The work devoted to the research of changes in the electric field strength depending on the power of a capacity transformers and the voltage on the high side. The results of this study can be used to identify hazardous areas in the territory of the substation and to choose safe bypass routes for the operating personnel.

Key words: electrical substation, electromagnetic field, operating personnel, permissible norms, sanitary zone.