

На правах рукописи



**Таваров Саиджон Ширалиевич**

**ЗАЩИТА ЛИНЕЙНОГО ПЕРСОНАЛА, ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО  
ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 500 кВ В РЕСПУБЛИКЕ  
ТАДЖИКИСТАН**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) на кафедре «Безопасность жизнедеятельности».

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор **Сидоров Александр Иванович**.

Официальные оппоненты:

**Красных Александр Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехники и электроники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Вятский государственный университет», г. Киров;

**Белинский Станислав Олегович**, кандидат технических наук, доцент, зам. директора по перспективному развитию, зав. лабораторией электробезопасности научно-исследовательского института охраны труда (НИИ ОХРАНЫ ТРУДА ФНПР), г. Екатеринбург.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Защита диссертации состоится 27 марта 2015 г., в 17:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.298.05 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1007.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по адресу, <http://www.susu.ac.ru/ru/dissertation/d-21229805/tavarov-saidzhon-shiralievich>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, д. 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: +7(351)-267-91-23, e-mail: [grigorevma@susu.ac.ru](mailto:grigorevma@susu.ac.ru).

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д212.298.05  
д-р техн. наук, доцент

Григорьев  
Максим Анатольевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Линии электропередачи в Республике Таджикистан, как и любой другой объект электроэнергетики, нуждаются в обслуживании, которое осуществляется как при эксплуатации, так и при ведении ремонтных работ.

В Республике Таджикистан общая протяжённость существующих линий электропередачи напряжением 500 кВ, построенных во времена Советского Союза, составляла 115 км. Это две двухцепные линии, с двумя подстанциями 500 кВ Нурек и Регар.

После отключения Республики Таджикистан от Единой энергетической системы перед правительством страны, в связи с увеличением в последние годы электропотребления, была поставлена задача строительства новых линий электропередачи 500 кВ для обеспечения электроэнергией крупных городов. Так, для энергодефицитной северной части страны в 2009 году были построены две линии напряжением 500 кВ общей протяжённостью 263,5 км. В данный момент, согласно проекту CASA–1000, в стране запланировано к 2015 году построить продолжения линий 500 кВ Худжанд – Датка (Кыргызстан) – Алматы (Казахстан) и Рогун – Сангтуда – Кундуз – Кабул – Пешавар.

Линии электропередачи напряжением 500 кВ проходят в северной части Таджикистана по местности, где возвышения над уровнем моря имеют отметки от 1500 до 2500 м, а в юго-западной – до 2000 м.

Годовой ход температуры воздуха вдоль линий электропередачи напряжением 500 кВ, проходящих по северной части территории, в пределах от + 30°С до – 24°С, а на юго-западе – в пределах от + 45°С до + 0,3°С.

Указанные выше особенности создают определенные трудности для линейного персонала при расчистке трассы линии электропередачи напряжением 500 кВ, а также осмотрах этой линии, проводимых два раза в год.

Учитывая состояние экономики Республики Таджикистан, перспективы развития линий 500 кВ, необходимо разработать такие предложения по защите линейного персонала от вредного воздействия электрических полей промышленной частоты, реализация которых не требовала бы значительных затрат и могла быть осуществлена в кратчайшие сроки. При этом необходимо учитывать, что высокие температуры окружающего воздуха в летний период времени приводят к значительным увеличениям напряженности электрического поля, связанным с увеличением стрелы провеса проводов.

Все это доказывает актуальность данной работы.

**Цель работы** – обосновать и разработать предложения по защите линейного персонала линий электропередачи напряжением 500 кВ от вредного воздействия электрических полей промышленной частоты (ЭП ПЧ) с учетом условий Республики Таджикистан.

Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих задач:

1. Разработать методику построения распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль линии электропередачи 500 кВ с помощью вычислительного кластера, учитывающую топографию местности и температуру окружающего воздуха.

2. Оценить данные расчетных карт распределения напряженности ЭП ПЧ, построенных по разработанной методике, сопоставив эти данные с результатами инструментальных исследований.

3. С использованием разработанной методики рассчитать распределения напряженности ЭП ПЧ для всех пролетов линии 500 кВ, проходящей по юго-западной части Республики Таджикистан, для различных температур окружающего воздуха.

4. На основании расчетных карт распределения напряженности ЭП ПЧ разработать предложения по защите линейного персонала при ведении работ вдоль ВЛЭП 500 кВ.

**Объект исследования** – напряженность электрического поля промышленной частоты вдоль линий электропередачи напряжением 500 кВ.

**Предмет исследования** – закономерности в изменении напряженности электрического поля вдоль линий электропередачи напряжением 500 кВ.

**Методологическая и теоретическая основа исследования:** в основу данной работы легли труды Г.Н. Александрова, Ю.Г. Григорьева, П.А. Долина, А.Ф. Дьякова, Т.И. Кривовой, К.Б. Кузнецова, Е.С. Колечицкого, Н.Б. Рубцовой, А.И. Сидорова, А.Ю. Токарского. и др. ученых, внесших большой вклад в изучение действия электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ) на биологические объекты, в том числе и на организм человека, разработку нормативов, а также способов и средств защиты от воздействия ЭМП ПЧ.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечиваются корректным использованием метода конечных элементов при разработке компьютерных моделей пролетов линий электропередачи напряжением 500 кВ, удовлетворительной сходимостью расчетных и экспериментальных результатов определения напряженности ЭП ПЧ.

**Научная новизна, основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Впервые получена компьютерная модель пролетов ВЛЭП 500 кВ Республики Таджикистан, отличающаяся учётом изменения как продольного, так и поперечного рельефа местности и температуры окружающего воздуха.

2. Разработана методика построения распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ с помощью вычислительного кластера.

3. Разработан руководящий документ по методике построения карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ.

4. Развитие способа защиты временем, заключающегося в обосновании применения карт распределения напряженности электрического поля для организации работ вдоль линии электропередачи 500 кВ.

**Практическая значимость работы и реализация ее результатов:**

1. Разработан и утвержден руководящий документ РД-1М-001-2014 «Построение карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ» для ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан.

2. Предложен проект организации работ при обслуживании ВЛЭП 500 кВ с учетом условий Республики Таджикистан.

3. Применение предложенного проекта организации работ при обслуживании ВЛЭП 500 кВ за счет правильного подбора благоприятного периода времени года (с начала сентября до середины октября) обеспечивает соответствие санитарным нормам приведенного времени пребывания линейного персонала в зоне действия ЭП ПЧ, и, кроме того, позволяет вовлечь дополнительно в сельскохозяйственный оборот в среднем на один пролет 56 соток земли.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Научные положения, приведенные в диссертации, соответствуют области исследований специальности 05.26.01 – Охрана труда (электроэнергетика), в частности, п.7 «Научное обоснование, конструирование, установление области рационального применения и оптимизация параметров способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов».

**Апробация работы.** Диссертационная работа и ее основные положения докладывались и обсуждались на международной республиканской научно-практической конференции «Перспективы энергетики Таджикистана» г. Душанбе, 2011 г.; V–Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии», г. Челябинск, 2012 г.; VI Международной заочной научно-практической конференции «Энергетика в современном мире», г. Чита, 2013 г.; LI–LIII международных научно-технических конференциях «Достижения науки – агропромышленному производству», г. Челябинск, 2012–2014 г.; 4–6 научных конференциях аспирантов и докторантов ЮУрГУ, г. Челябинск, 2012–2014 г.; 64–65 научных конференциях «Наука ЮУрГУ», г. Челябинск, 2012–2013 г.; III Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи», г. Челябинск, 2014 г.; на семинарах аспирантов и докторантов кафедры «БЖД» ЮУрГУ (НИУ) г. Челябинск 2012–2014 г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 научных статей, в том числе 4 работы – в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 115 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 8 таблиц, 110 наименований литературы и 1 приложение.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, отражена научная новизна работы, её практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведены общие характеристики существующих и проектируемых воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ, проходящих по территории Республики Таджикистан, рассмотрены проблемы, связанные с эксплуатацией линий напряжением 500 кВ, обусловленные сложностью рельефа местности и температурой окружающей среды, и дан

краткий обзор существующих методов защиты линейного персонала при обслуживании линий электропередачи напряжением 500 кВ.

**Во второй главе** рассмотрены существующие методы расчета распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ и факторы, влияющие на значения напряженности ЭП ПЧ вдоль данных линий, а именно: рельеф местности и температура окружающего воздуха.

Одним из факторов, влияющих на точность расчетов, является математическое описание «геометрии» ВЛЭП. Большинство методов расчета электрического поля вдоль ВЛЭП разработаны для ровной местности, что не соответствует реальным условия трасс ВЛЭП 500 кВ.

Для оценки влияния рельефа местности и температуры окружающего воздуха на расчетные значения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ методом зеркальных отображений (МЗО) была рассчитана напряженность ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ при подъеме линии в гору. Результаты расчетов сопоставлялись с измеренными значениями, полученными экспериментальным путем сотрудниками кафедры «БЖД» ЮУрГУ. В табл. 1 приведены полученные результаты расчетных (МЗО) и измеренных значений напряженности ЭП ПЧ.

Таблица 1

Расчетные и измеренные значения напряженности ЭП ПЧ

Расстояния между опорами, м	10 м от фазы С	5 м от фазы С	под крайней фазой С	между фазами В и С	под средней фазой В	между фазами А и В	под крайней фазой А	5 м от фазы А	10 м от фазы А
80	3,10 (5,50)	3,60 (9,00)	3,44 (10,50)	2,50 (4,90)	1,88 (3,90)	2,50 (4,00)	3,44 (9,00)	3,60 (5,50)	3,10 (2,10)
100	3,40 (0,00)	4,12 (2,60)	4,03 (9,00)	2,98 (8,00)	2,33 (5,00)	2,98 (4,90)	4,03 (10,00)	4,12 (8,50)	3,40 (3,50)
120	3,70 (2,00)	4,78 (3,30)	4,8 (11,00)	3,63 (9,00)	2,98 (9,00)	3,63 (5,50)	4,80 (11,50)	4,78 (10,50)	3,70 (4,85)
140	4,06 (4,80)	5,50 (12,50)	5,77 (14,50)	4,35 (9,00)	3,77 (9,50)	4,35 (9,00)	5,77 (13,00)	5,50 (10,50)	4,06 (4,50)
160	4,33 (8,00)	6,25 (12,50)	6,80 (12,50)	5,14 (9,00)	4,74 (9,00)	5,14 (9,00)	6,80 (13,00)	6,25 (11,00)	4,33 (5,40)
180	4,53 (9,50)	6,96 (11,50)	7,90 (12,50)	5,90 (9,00)	5,77 (10,50)	5,90 (5,48)	7,90 (12,50)	6,96 (11,00)	4,53 (8,40)
200	4,66 (5,50)	7,50 (11,00)	8,86 (11,50)	6,52 (10,00)	6,68 (8,50)	6,52 (8,85)	8,86 (11,90)	7,50 (3,25)	4,66 (-)
220	4,68 (8,00)	7,59 (11,50)	8,99 (13,00)	6,60 (11,00)	6,81 (11,00)	6,60 (10,00)	8,99 (14,90)	7,59 (11,00)	4,68 (10,00)
240	4,62 (8,50)	7,29 (12,00)	8,47 (13,50)	6,27 (9,50)	6,29 (10,50)	6,27 (8,00)	8,47 (12,50)	7,29 (9,50)	4,62 (2,70)
260	4,55 (4,90)	6,93 (9,00)	7,86 (12,00)	5,86 (9,00)	5,69 (5,00)	5,86 (5,30)	7,86 (11,00)	6,93 (9,00)	4,55 (4,00)
280	4,35 (5,00)	6,22 (9,00)	6,75 (9,50)	5,08 (8,00)	4,65 (4,20)	5,08 (4,30)	6,75 (4,50)	6,22 (3,75)	4,35 (1,60)

**Примечание:** в скобках приведены значения напряженности электрического поля, полученные при измерениях, проводившихся сотрудниками кафедры «БЖД» ЮУрГУ.

Считая экспериментальные данные истинными, оценим погрешность расчетных значений для одних и тех же точек определения напряженности электрического поля промышленной частоты.

Изменения относительной погрешности в зависимости от места измерения представлены на рис. 1.

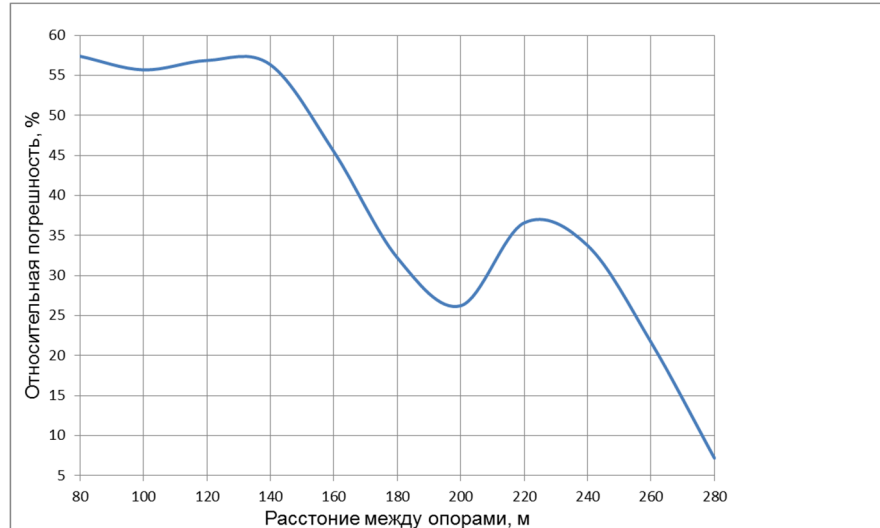


Рис. 1. Зависимость относительной погрешности расчетных данных, полученных методом зеркальных отображений, от измеренных значений

Согласно рис. 1 относительная погрешность расчетных значений, полученных методом зеркальных отображений, лежит в диапазоне от 7 до 57,5 %. Причем минимальное значение погрешности обеспечивается на весьма малом участке пролета.

Отмеченные особенности позволяют сделать вывод, что применение общепринятых методов расчета распределения напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ приведёт к значительным погрешностям.

**Третья глава** посвящена разработке методики построения карт распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ с помощью вычислительного кластера, в которой учитываются топография местности и температура окружающего воздуха.

Для разработки методики построения карт распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ с учетом изменений рельефа местности и температуры окружающего воздуха были использованы программные среды Solidwork 2013 и Mechanical APDL (Ansys 13).

Компьютерные модели эскизов опор с провесами фазных проводов (с учетом изменения температуры окружающего воздуха) и изменения поверхности рельефа местности строились в программной среде Solidworks 2013, с последующим преобразованием данных эскизов в трехмерную модель. Преимущество программной среды Solidworks 2013 для начального построения заключается в простоте и удобстве модели объемных объектов сложной формы.

Как и в существующих моделях, в нашей модели были приняты следующие начальные допущения:

- не учитывалось влияние грозозащитных тросов на значения напряженности ЭП в расчетных точках;
- моделирование проводилось на удалении свыше 60 м от любой из опор, поскольку вблизи опор значения напряженности электрического поля не превышают 5 кВ/м, т. е. это пространство не является зоной действия электрического поля;
- пренебрегаем явлением коронного разряда.

Построенные в программе Solidworks 2013 модели преобразовывались в формат либо parasolid (\*.x\_t), либо IGES(\*.igs) для дальнейшего импорта в программу Mechanical APDL (ANSYS 13), где и рассчитывались напряженности ЭП ПЧ. При импортировании файла в программную среду Mechanical APDL (ANSYS 13) в полученных моделях исключались опоры.

Надо отметить, что расчет электрического поля в программной среде Mechanical APDL (ANSYS 13) основан на методе конечных элементов (МКЭ).

Учитывая, что для решения объёмной задачи МКЭ необходима большая оперативная память, для этого был использован вычислительный кластер «СКИФ Аврора ЮУрГУ».

Результаты расчета напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ, полученные в программе Mechanical APDL (ANSYS 13) с применением вычислительного кластера «СКИФ Аврора ЮУрГУ» (при подъёме линии в гору и температуре окружающего воздуха + 24 °С) приведены в табл. 2.

Для наиболее характерного участка по разработанной методике построено распределение напряженности ЭП в программной среде Mechanical APDL (ANSYS 13), которое представлено на рис. 2.

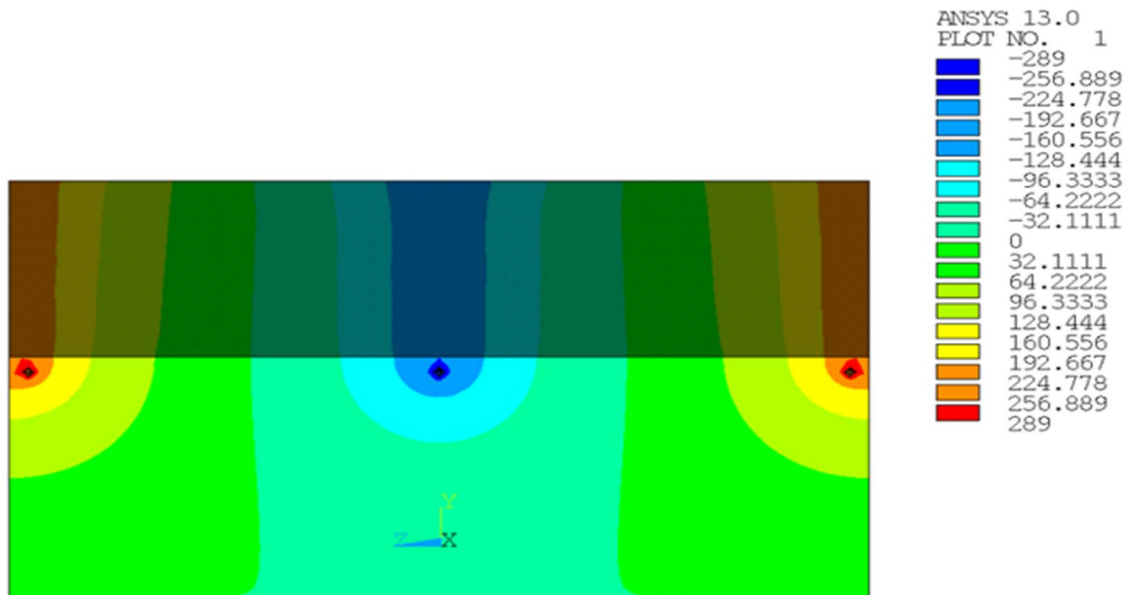


Рис. 2. Распределения напряженности ЭП ПЧ для участка X=240 м от опоры



Расчетные значения, полученные в программе Mechanical APDL (ANSYS 13) с помощью вычислительного кластера «СКИФ Аврора ЮУрГУ», (подъём линии в гору;  $t=+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Расстояния между опорами	под крайней фазой С	между фазами В и С	под средней фазой В	между фазами А и В	под крайней фазой А
80м	10,10	5,92	3,70	5,70	10,20
100м	8,20	7,42	4,65	5,70	9,50
120м	11,52	8,80	10,10	6,56	11,52
140м	14,18	8,42	9,10	8,60	14,58
160м	11,52	8,68	8,65	8,56	12,64
180м	12,85	9,92	9,40	8,89	12,84
200м	13,00	9,30	10,00	9,30	12,50
220м	13,18	10,42	9,10	8,60	15,58
240м	15,18	7,82	9,20	7,60	12,58
260м	11,52	8,80	6,92	7,60	10,20
280м	8,20	7,42	4,65	5,70	5,92

На рис. 3, приведено изменение расчетных и измеренных значений напряженности ЭП вдоль пролета под фазой С.

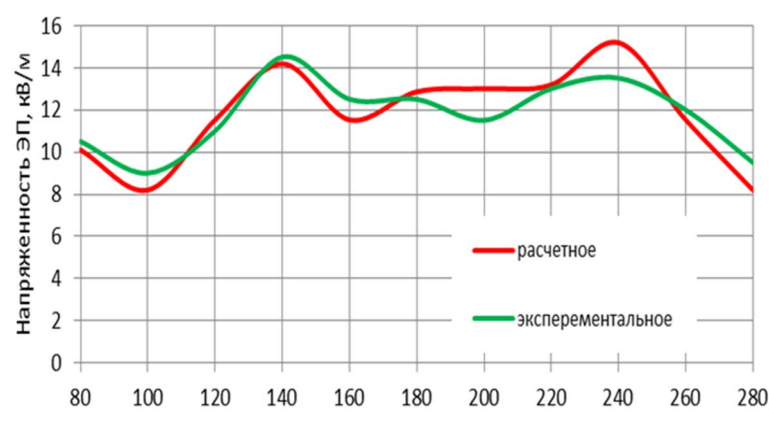


Рис. 3. Изменение напряженности ЭП вдоль ВЛ 500 кВ под фазой С (при  $t=+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Сопоставление расчетных значений напряженности электрического поля промышленной частоты, полученных с помощью вычислительного кластера «СКИФ Аврора ЮУрГУ», с результатами экспериментальных измерений в этом же пролете показали, что относительная погрешность по всей длине пролета не превышает 10 %.

Это дает основание утверждать о возможности и целесообразности применения разработанной методики расчета значения напряженности электрического поля промышленной частоты в условиях Республики Таджикистан.

**Четвертая глава** посвящена применению расчетных карт распределения напряженности ЭП вдоль ВЛЭП 500 кВ (проходящей по юго-западной части

Республики Таджикистан), построенных по разработанной методике для организации работ по обслуживанию этих линий с обеспечением условий безопасности для линейного персонала.

Необходимо отметить, что нами разработан и утвержден ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан руководящий документ РД-1М-001-2014 «Построение карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ», регламентирующий методику построения карт распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ с целью определения зоны влияния электрических полей вдоль указанных линий, что необходимо для организации работ на линиях электропередачи указанного напряжения, при которой обеспечивается соответствие приведённого времени требованиям нормативных актов.

С использованием разработанной нами методики для всех пролетов линии 500 кВ, проходящей по юго-западной части Республики Таджикистан, с шагом 1 м были рассчитаны распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ при различных температурах окружающего воздуха (от + 27°C до + 45°C с шагом изменения температуры + 3°C).

Общее количество пролетов между опорами вдоль данной линии составило 533.

На рис. 4 приведена продольная диаграмма распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ для пролёта, поднимающегося, в гору, для различных температур окружающего воздуха.

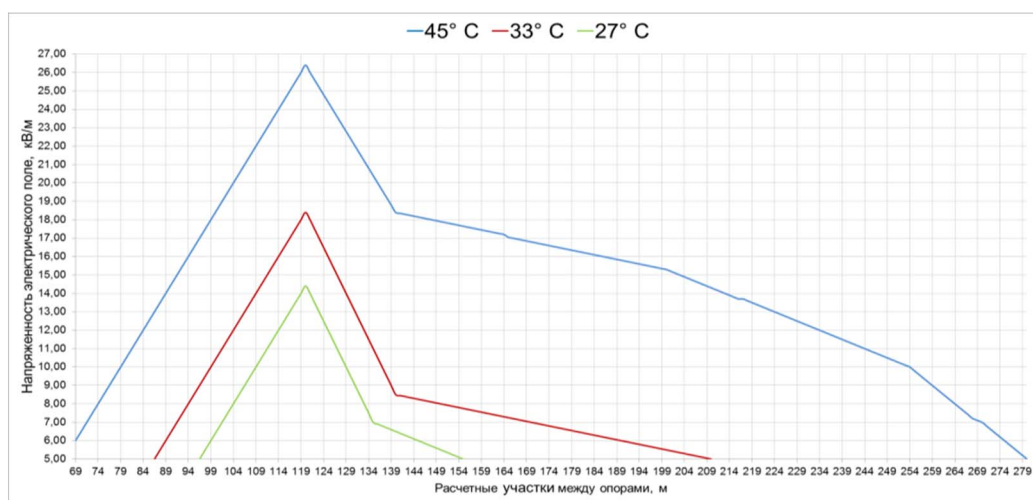


Рис. 4. Продольные диаграммы распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ (подъём линии в гору; при  $t = +27; 33; 45$  °C)

Согласно рис. 4, для одного и того же пролета при разных температурах окружающего воздуха зона действия ЭП ПЧ либо уменьшается при уменьшении температуры окружающего воздуха, либо увеличивается при увеличении температуры окружающего воздуха. При температуре окружающего воздуха, равной

+ 45°C, значения ЭП ПЧ превышает 25кВ/м. При указанной напряженности ЭП ПЧ без применения средств индивидуальной защиты работать запрещено. Заметим, что с учетом климата применение указанного средства защиты от действия ЭП ПЧ вызывает у линейного персонала дискомфорт.

Для предотвращения вредного действия электрического поля на организм человека, обслуживающего линии напряжением 500 кВ, необходимо, чтобы приведенное время его пребывания в зоне действия электрического поля не превышало 8 ч. В этом случае в организме работника по обслуживанию линий электропередачи не наблюдается отрицательных изменений.

Это можно обеспечить путем подбора таких временных отрезков на календаре, когда на любом пролете работа не приведет к превышению допустимого приведенного времени пребывания линейного персонала в зонах действия электрических полей промышленной частоты вдоль ВЛЭП 500 кВ. Таким образом, с помощью расчетных карт распределения напряженности электрических полей промышленной частоты, можно организовать работу так, чтобы приведенное время не превышало 8 ч.

Для климатических условий Республики Таджикистан максимальная напряженность электрического поля наблюдается летом (начиная с конца июня и до конца августа), в середине дня, когда температура воздуха максимальна, а, следовательно, максимальна стрела провеса.

Рассмотрим организацию работ на ВЛЭП 500кВ для (см. рис. 4).

По данным, полученным от ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан, на расчистку трасс и осмотр одного пролета тратится до 60 мин. времени.

Надо отметить и тот фактор, что вдоль ВЛЭП 500 кВ, проходящих по юго-западной части Республики Таджикистан, до 70 % распространены полукустарниковые, кустарниковые и травянистые массивы, такие как:

- субальпийские разнотравные степи с высотами: горицвета 10 – 20 см, котовник – 25 см, полынь - эстрагон до 1 м, мятлик до 60 см, тонгонок – 30 – 40 см (в западной части);

- низкотравные с высотами: трищетинник – до 50 см, эгилопс – до 45 см, асрагал – до 40 см (в южной части).

Таким образом, при ведении работ вдоль ВЛЭП 500 кВ линейный персонал не экранируется растительными массивами, поскольку известно, что растительные массивы могут уменьшить напряженность электрического поля промышленной частоты до 3 – 3,5 раза, если они превышают рост человека.

Рассчитаем приведенное время пребывания персонала для рис. 4 при температуре окружающего воздуха + 45 °С.

$$T_{пр} = 8 \cdot \left( \frac{0,08}{6,3} + \frac{0,08}{5,14} + \frac{0,08}{4,25} + \frac{0,08}{3,6} + \frac{0,08}{3} + \frac{0,208}{2,55} + \frac{0,208}{2,16} + \frac{0,208}{1,85} + \frac{0,208}{1,57} + \frac{0,208}{1,33} + \frac{0,3}{1,13} + \frac{0,3}{0,94} + \frac{0,3}{0,77} + \frac{0,3}{0,63} + \frac{0,3}{0,5} + \frac{0,08}{0,38} + \frac{0,08}{0,27} + \frac{0,08}{0,17} + \frac{0,08}{0,08} \right) = 37,63 \text{ ч.}$$

Следовательно, за фактическое время пребывания линейного персонала в указанных зонах (0,67 ч) биологическое воздействие электрического поля

промышленной частоты эквивалентно воздействию на персонал электрического поля напряженностью 5 кВ/м в течение 37,63 ч. Как уже отмечалось, приведенное время не должно превышать восьми часов.

Аналогичным образом для других температур окружающего воздуха (см. рис. 4) было рассчитано приведенное время в зонах действия ЭП ПЧ. Результаты, расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчётное приведенное время пребывания линейного персонала в зонах действий ЭП ПЧ при  $t = + 33; 27^{\circ}\text{C}$

Рельеф местности	Время	Зоны действия ЭП ПЧ, кВ/м при $t = + 33; 27^{\circ}\text{C}$			
		5÷10	10÷15	15÷20	20÷25
Подъем линии в гору	$t_E$ , час	0,4	0,05	0,05	0
	$T_{пр}$ , час	7,69			
	$t_E$ , час	0,2	0,067	0	0
	$T_{пр}$ , час	3			

Согласно табл. 3 приведенное время пребывания линейного персонала в зонах действиях ЭП ПЧ при температурах окружающего воздуха, равных  $+27^{\circ}\text{C}$  и  $+ 33^{\circ}\text{C}$ , не превышает 8 ч. Однако при температуре окружающего воздуха  $+ 27^{\circ}\text{C}$  приведенное время пребывания линейного персонала в зонах действия данных полей относительно температуры  $+ 33^{\circ}\text{C}$  в среднем в 2,5 раза меньше.

Таким образом, при ведении работ вдоль ВЛЭП 500 кВ при температуре окружающего воздуха  $+ 27^{\circ}\text{C}$  один линейный электромонтёр за день может расчистить до трех пролетов с суммарным приведенным временем пребывания в зоне действия ЭП ПЧ не менее 8 ч.

Благоприятный период для ведения работы при температуре окружающего воздуха  $+ 27^{\circ}\text{C}$  составляет 32 дня (с сентября до середины октября без учета выходных), что составляет 256 часов рабочего времени. Для расчистки трассы (533 пролета) от кустарников для бригады, состоящей из 10 линейных электромонтёров, необходимо 18 рабочих дней (с учетом того, что за день данная группа может расчистить 30 пролетов).

Применение расчетных карт позволяет проводить осмотр ВЛЭП 500 кВ, находясь в зоне с напряженностью не менее 5кВ/м.

**Осмотр ВЛЭП 500 кВ** – осмотр линии электропередачи напряжением 500 кВ вдоль пролетов с использованием карт распределения напряженности электрического поля можно проводить следующими способами:

- находясь в зоне электрического поля, где напряженность не превышает ПДУ;
- удаляясь от проекции крайнего провода (в зависимости от рельефа местности) на расстояние, при котором  $E \leq 5 \text{ кВ/м}$ , используя при этом для осмотра бинокли;
- используя приборы тепловизионного контроля и малую авиацию.

Ниже, на рис. 5, 6, приведены поперечные диаграммы распределения напряженности электрического поля для наиболее характерных участков (см. рис.3) при температурах окружающего воздуха, равных +27; 33°C.

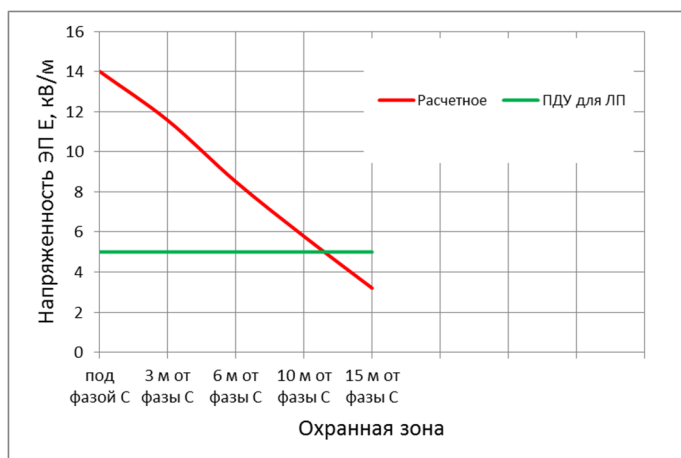


Рис. 5. Поперечная диаграмма распределения напряженности ЭП ПЧ в охранной зоне (подъём линии в гору;  $t=+ 27^{\circ}\text{C}$ )

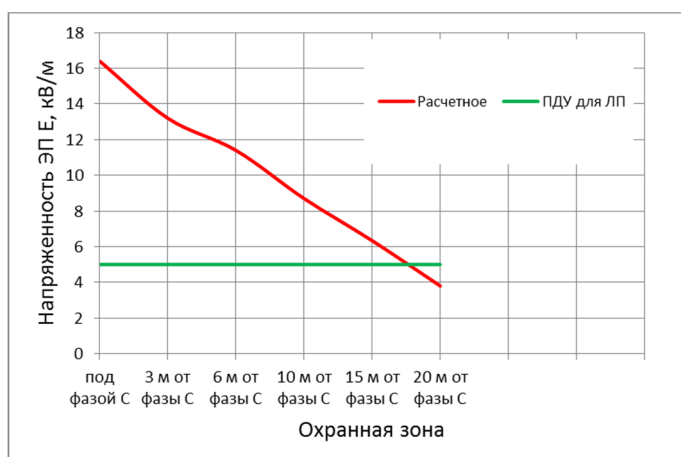


Рис. 6. Поперечная диаграмма распределения напряженности ЭП ПЧ в охранной зоне (подъём линии в гору;  $t=+ 33^{\circ}\text{C}$ )

Согласно рис. 5, 6 предлагается организовать осмотр трасс вдоль ВЛЭП 500 кВ таким образом (удаляясь от проекции фазы крайнего провода в зависимости от рельефа местности и температуры окружающего воздуха), чтобы линейный персонал всегда находился вне зоны влияния электрического поля ( $E < 5 \text{ кВ/м}$ ) и при необходимости использовал бинокль для осмотра элементов ВЛЭП 500 кВ. Использование же малой авиации и приборов тепловизионного контроля для осмотров, учитывая экономическое состояние ОАХК «Барки Точик», на данный момент нецелесообразно. Однако с учетом того, что согласно проекту CASA–1000 будет строиться продолжение ЛЭП 500 кВ, связывающей север Таджикистана с югом Кыргызстана, а также юг Таджикистана с севером Афганистана, в дальнейшем применение малой авиации (беспилотников) может быть наиболее удобным, учитывая и климатические условия, и сложный рельеф местности Таджикистана.

На основании построенных расчетных карт и при правильном подборе деревьев или кустарников (в зависимости от климатических условий), размещенных на границах санитарно-защитных зон, можно увеличить площади плодородных земель, исключив при этом негативное влияние ЭП ПЧ на население.

Известно, что абрикосы обыкновенные (местные сорта), гранат обыкновенный (местные сорта) а также яблоня домашняя (местного сорта) обладают способностью экранировать электрическое поле и уменьшать значение его напряженности в несколько раз.

Физическая сущность защитного действия заключается в том, что листья деревьев имеют высокую проводимость, а корни деревьев находятся в земле. С учётом того, что население, ведущее сельскохозяйственные работы вблизи охранной зоны, будет находиться за этими деревьями, высота которых выше роста человека, эти посадки будут экранировать электрические поля, создаваемые линиями 500 кВ.

При этом надо отметить, что на рост и вкус получаемых плодов электрическое поле не влияет, наоборот – увеличивается рост деревьев и размеры плодов.

За счет правильного использования растений на границе санитарно-защитной зоны ВЛЭП 500 кВ, можно увеличить площади для ведения сельскохозяйственных работ.

Такой подход приведет к совпадению размеров охранной и санитарно-защитной зон.

Предположим, что за счёт использования абрикоса обыкновенного (местного сорта), растущего в северной части Республики Таджикистан, уменьшим санитарно-защитную зону с 38 м до 30 м вдоль пролёта за счёт снижения значений ЭП ПЧ. С учётом того, что средняя стоимость одной сотки земли в юго-западной части Республики Таджикистан составляет от 500 до 700 долларов, а длина пролёта в данном случае равна 350 м, мы дополнительно получаем 2800 м<sup>2</sup> или 28 соток. Умножая данное значение на два (санитарно-защитная зона вдоль пролёта выделяется с двух сторон), получаем 56 соток. Умножив это значение на среднюю стоимость одной сотки земли, получим в среднем 33, 6 тыс. долларов на один пролёт линии.

Аналогичным образом можно уменьшать размер санитарно-защитной зоны вдоль всех пролётов ВЛЭП 500 кВ, проходящих по территории Республики Таджикистан, увеличивая тем самым площадь земли для ведения сельскохозяйственных работ вблизи указанных линий.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, состоящая в разработке предложений по защите линейного персонала, обслуживающего ЛЭП 500 кВ, обеспечивающих соблюдение требований нормативных актов по допустимой величине приведённого времени.

Выполненная работа позволяет сформулировать следующие основные результаты и выводы:

1. Разработана методика построения карт распределения напряженности ЭП ПЧ вдоль ВЛЭП 500 кВ с помощью вычислительного кластера, учитывающая орографию местности и температуру окружающего воздуха.

2. Результаты расчетных карт распределения напряженности ЭП ПЧ, построенных по разработанной методике, сопоставлены с результатами инструментальных исследований. Относительная погрешность построенных карт по разработанной методике не превысила 10 %.

3. Разработан и утвержден Открытой Акционерной Холдинговой Компанией «Барки Точик» Республики Таджикистан руководящий документ РД-1М-001-2014 «Построение карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ», регламентирующий методику построения карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ для определения зоны влияния электрических полей вдоль указанных линий с целью организации работ на линиях электропередачи напряжением 500 кВ, обеспечивающей защиту линейного персонала.

4. На основании расчетных карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль ВЛЭП 500 кВ, проходящей по юго-западной части Республики Таджикистан, разработан проект организации работ при обслуживании ВЛЭП 500 кВ, позволяющий обеспечить приведенное время пребывания линейного персонала в зоне действия электрических полей промышленной частоты не более 8 ч.

5. Показано, что размещение на границах охранной зоны деревьев и кустарников, подобранных с учетом климатических условий, обеспечивает защиту населения от действия электрических полей промышленной частоты и позволяет дополнительно вовлечь в сельскохозяйственный оборот до 56 соток плодородной земли на один пролет ВЛ 500 кВ.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### **Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК:**

1. Таваров, С.Ш. О методике построения карты напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ / С.Ш. Таваров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 138–139.

2. Сидоров, А.И. Построение карты напряженности электрического поля с учетом рельефа местности и температуры воздуха / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1 – С. 52–55.

3. Сидоров, А.И. Моделирование электрического поля промышленной частоты вдоль ВЛЭП 500 кВ в программе Ansys 13 с применением вычислительного кластера «СКИФ Аврора» / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров, Б.В.

Севастьянов, Р.О. Шадрин // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. Серия «Управления вычислительной техники и информатики». – 2014. – № 1(61). – С. 122 – 123.

4. Сидоров, А.И. Построение карт распределения напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ Республики Таджикистан / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, С.Ш. Таваров // Вестник Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Серия «Энергетика». – 2014. – № 1(25). – С. 56 – 59.

#### **Публикации в других изданиях:**

5. Сидоров, А.И. Обеспечение безопасности передачи электроэнергии в электрических сетях сверхвысокого напряжения / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Перспективы энергетики Таджикистана: материалы международной республиканской научно-практической конференции. – Душанбе, 2011. – С. 92–94.

6. Сидоров, А.И. Выбор методики построения карт распределения напряженности электрического поля вдоль линии электропередачи напряжением 500 кВ в зависимости от рельефа местности / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LI международной научно-технической конференции. – Челябинск: ЧГАА, 2012. – Ч. VI. – С.100–103.

7. Сидоров, А.И. Необходимость учета особенностей рельефа местности в зоне расположения ВЛЭП при разработке метода расчета электрического поля / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов V – Международной научно-практической конференции: в 2 т.; под. ред. А.И. Сидорова – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2012. – Т. 1. – С. 231 – 233.

8. Сидоров, А.И. Учет рельефа местности при построении карты напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500кВ /А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LII международной научно-технической конференции. – Челябинск: ЧГАА, 2013. – Ч. 6. – С. 175 – 178.

9. Таваров, С.Ш. Проблемы, связанные с эксплуатацией линий напряжением 500 кВ республики Таджикистан / С.Ш. Таваров // Энергетика в современном мире: сборник статей VI Международной заочной научно-практической конференции 2-6 декабря 2013 г., Забайкальский гос. ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 33 – 37.

10. Сидоров, А.И. Методика исследования распределения электрического поля вдоль линии электропередачи 500 кВ / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 1. – С. 257 – 261.

11. Сидоров, А.И. Карты распределения напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ, построенные в Ansys 13 с применением вычислительного кластера «СКИФ Аврора» / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LIII международной научно - технической конференции. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – С. 173 – 177.



12. Сидоров, А.И. Построения карт распределения напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // MATERIÁLY X MEZINÁRODNÍ VĚDECKO-PRAKTICKÁ KONFERENCE «MODERNÍ VYMOŽENOSTI VĚDY - 2014» 27 ledna - 05 února 2014 Díl 38 Technické vědy. – Praha: Education and Science s.r.o., 2014. – С. 64 – 66.

13. Таваров, С.Ш. Оценка влияния рельефа местности на напряженность электрического поля под ЛЭП СВН. / С.Ш. Таваров // Безопасность жизнедеятельность глазами молодежи: сборник материалов III Всероссийской студенческой конференции (с международным участием). – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – С 105 – 107.

14. Сидоров, А.И. Руководящий документ как средство улучшения условий труда линейного персонала ОАХК «Барки Точик» / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Электробезопасность. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 35 – 43.

Таваров Саиджон Ширалиевич

ЗАЩИТА ЛИНЕЙНОГО ПЕРСОНАЛА, ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ЛИНИИ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 500 кВ В РЕСПУБЛИКЕ  
ТАДЖИКИСТАН

Специальность 05.26.01 – Охрана труда (электроэнергетика)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

---

Подписано в печать \_\_\_\_.\_\_\_\_.2014. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. \_\_\_\_. Уч.-изд. л. \_\_\_\_. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

---

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.