

05.26.01  
С467

Контрольный  
экземпляр

*На правах рукописи*



**Скуртова Ирина Вячеславовна**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И БЕЗВРЕДНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ  
РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ЛИНИЙ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» на кафедре «Безопасность жизнедеятельности».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
**Сидоров А.И.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Кузнецов К.Б.,**  
доктор технических наук  
**Кравчук И.Л.**

Ведущее предприятие – государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ)

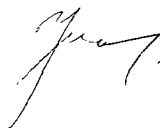
Защита состоится 29 октября 2008 г., в 10 часов, в ауд. 1001 на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2008 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: (351) 267-94-49, e-mail: Ira@bgd.susu.ac.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



Ю.С.Усынин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время линии электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН) получили огромное распространение. С каждым годом прогнозируется рост энергопотребления в Российской Федерации. В связи с этим для повышения уровня надежности электроснабжения потребителей к 2020 году потребуются сооружение 22,2 тыс. км линий электропередачи напряжением 330 кВ и выше. ВЛ СВН обеспечивают передачу потоков энергии целым регионам России. От их надежной работы зависит жизнедеятельность этих регионов.

Работы по техническому обслуживанию линий электропередачи, основными видами которых являются ведение осмотров трассы ВЛ, ведение верхового осмотра опор ВЛ и расчистка трасс в зоне отчуждения ВЛ, помогают поддерживать линии в исправном состоянии, своевременно выявлять возможные неисправности и нарушения.

В связи с этим возникает проблема изучения влияния опасных и вредных производственных факторов на электротехнический персонал, обслуживающий воздушные линии электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН).

При ведении работ по техническому обслуживанию линий электропередачи персонал подвергается воздействию различных опасных и вредных производственных факторов: физических (электромагнитное поле, электромагнитное излучение, шум, вибрация, параметры микроклимата), биологических (клещи, змеи, кровососущие насекомые, домашние и дикие животные), психофизиологических (тяжесть и напряженность трудового процесса) и химических.

Воздействие этих факторов может привести к повреждению здоровья или возникновению несчастного случая.

Все перечисленное выше подтверждает актуальность работы и обосновывает необходимость разработки мероприятий, существенно изменяющих условия труда электротехнического персонала, занятого на работах по техническому обслуживанию ВЛ СВН.

Работа поддержана грантом по программе развития научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых в высших учебных заведениях Челябинской области, осуществляемой Министерством образования РФ и Правительством Челябинской области.

**Цель работы.** Уменьшение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего воздушные линии электропередачи сверхвысокого напряжения.

**Идея работы.** Снижение времени пребывания персонала в зоне отчуждения линий электропередачи путем изменения технологии ведения работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения.

## **Научные положения и результаты, выносимые на защиту.**

1. Технологические карты на ведение отдельных видов работ при эксплуатации воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения и план работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения являются необходимыми и достаточными источниками информации для определения значений вероятностей событий, определяющих возможность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего эти линии.

2. Для исключения аварийных ситуаций на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения при применении дистанционно пилотируемых летательных аппаратов в маршрутной карте должно задаваться удаление аппарата от фазного провода и гроззащитного троса не более 30 и 22 м соответственно.

3. Результаты анализа условий труда персонала филиала ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Урала, занятого обслуживанием воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения: мастеров по ремонту воздушных линий электропередачи и электромонтеров по ремонту воздушных линий электропередачи.

4. Логико-вероятностная модель оценки вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала, занятого обслуживанием воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения, учитывающая воздействие всех опасных и вредных производственных факторов (физических, химических, биологических и психофизиологических).

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:**

- большим объемом статистических исследований материалов по аттестации рабочих мест по условиям труда;
- правильным применением методов логико-вероятностного моделирования;
- корректным использованием математического аппарата для оценки механического воздействия дистанционно пилотируемого летательного аппарата на фазные провода и грозозащитные тросы.

### **Значение работы. Научное значение работы:**

- впервые разработана логико-вероятностная модель оценки вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при ведении работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения. Данная модель может быть адаптирована к применению в любой организации, занимающейся техническим обслуживанием воздушных линий электропередачи;
- разработана методика определения значений вероятностей, образующих логико-вероятностную модель оценки вероятности повреждения здоровья

электротехнического персонала, обслуживающего воздушные линии электропередачи сверхвысокого напряжения;

– на основании анализа технологических карт, карт аттестации рабочих мест по условиям труда, карт распределения напряженности электрического и магнитного полей вдоль пролетов линий электропередачи, а также метода экспертных оценок определены вероятности событий, образующих логико-вероятностную модель.

#### **Практическое значение работы:**

– обосновано применение дистанционно пилотируемых летательных аппаратов для ведения работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения, исключающее возможные повреждения элементов линии электропередачи при нештатных ситуациях;

– установлено, что внесение изменений в технологию ведения работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения, предлагаемых в диссертации, позволит снизить вероятность повреждения здоровья в 2,5 раза.

#### **Реализация выводов и рекомендаций работы:**

– обоснованные в работе предложения переданы для рассмотрения в ОАО «Федеральную сетевую компанию Единой энергетической системы»;

– результаты, приведенные во второй и третьей главах диссертации, используются при подготовке студентов специальностей 140205 «Электроэнергетические системы и сети» и 280101 «Безопасность жизнедеятельности в технике».

**Апробация работы.** Основные материалы и результаты диссертационной работы были доложены, рассмотрены и одобрены:

– на трех Всероссийских ежегодных научно-технических конференциях «Наука – Производство – Технологии – Экология» (ВятГУ, Киров, 2004, 2006, 2007 гг.);

– на международной научно-практической конференции «Дальневосточная весна – 2008» (КнАГТУ, Комсомольск-на-Амуре, 2008 г.);

– на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (2004 – 2008 гг.).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, 3 из них в журналах, рекомендованных ВАК.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 118 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков, 28 таблиц, список используемой литературы из 102 наименований и 2 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, отмечена научная значимость и практическая ценность работы.

Большой вклад в изучение воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН) и обеспечение безопасности при работе на них внесен такими учёными, как Манойлов В.Е., Долин П.А., Князевский Б.А. и другими. Однако до настоящего времени проблема защиты персонала, ведущего работы по техническому обслуживанию ВЛ СВН, не решена до конца.

Линии электропередачи, как и любой другой объект электроэнергетики, нуждаются в обслуживании, которое осуществляется как при эксплуатации линии, так и при ведении ремонтных работ.

Все работы на линиях электропередачи подразделяются на три вида:

- ликвидация аварий;
- ремонтные работы;
- техническое обслуживание.

К работам по техническому обслуживанию линии электропередачи относятся следующие виды работ:

- расчистка трассы ВЛ от кустарников и деревьев (механизированная и ручная);
- ведение осмотров линий электропередачи (периодических и внеочередных);
- верховые осмотры опор ВЛ.

Проведение осмотров воздушных линий электропередачи заключается в обследовании основных элементов воздушных линий и поиске возможных неисправностей. Для этих целей применяются различные технологии, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки (табл. 1).

Проведенный анализ существующих методов ведения осмотров показал, что на сегодняшний день не существует технологии, которая могла бы обеспечить безопасное и безвредное для персонала ведение осмотров ВЛ СВН.

При ведении работ на ВЛ СВН электротехнический персонал подвергается воздействию различных опасных и вредных производственных факторов (ОиВПФ): физических, химических, биологических, психофизиологических.

К физическим факторам относятся: электромагнитное поле, электромагнитное излучение, шум, вибрация, ультрафиолетовое излучение, параметры микроклимата (температура, влажность, подвижность воздуха).

К химическим факторам относятся химические вещества и смеси, присутствие которых в воздухе рабочей зоны возможно при ведении работ на ВЛ СВН (пары бензина, ацетон, бенз(а)пирен, смолистые вещества).

При ведении работ на ВЛ СВН электротехнический персонал может подвергаться воздействию биологических факторов (возможность укусов змей, клещей, кровососущих насекомых, нападения домашних или диких животных).

Таблица 1

## Общие недостатки различных технологий ведения осмотров ВЛ

Недостатки	Способ ведения осмотров					
	С вертолета	С автожира	С дирижабля	Пеший осмотр	С автотранспорта	С дельтале-та
Воздействие электрического поля на человека	+	+	+	+	+	+
Возможность повреждения здоровья персонала	+	+	+	+	+	+
Зависимость от местоположения линии	—	—	—	+	+	—
Зависимость от метеоусловий	+	+	+	+	+	+
Физическая утомляемость персонала	+	+	+	+	+	+
Возможность повреждения линии	+	+	+	—	—	+
Большие экономические затраты	+	—	+	—	—	—

К психофизиологическим факторам, воздействующим на персонал, относятся тяжесть и напряженность трудового процесса.

Анализ условий труда электротехнического персонала, обслуживающего ВЛ СВН, позволит определить по каким именно ОиВПФ условия труда оцениваются как вредные, и возможно ли каким-либо способом снизить их вредное воздействие.

К персоналу, обслуживающему воздушные линии электропередачи (ВЛЭП), относятся следующие должности и профессии: мастер по ремонту ВЛЭП и электромонтер по ремонту ВЛЭП. Всего аттестацией рабочих мест по условиям труда, проведенной кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» в структурных подразделениях филиала ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Урала, было охвачено 30 рабочих мест (15 рабочих мест мастеров по ремонту ВЛЭП и 15 рабочих мест электромонтеров по ремонту ВЛЭП), на которых занято 98 человек.

Сводные данные по аттестации рабочих мест линейного персонала представлены в табл. 2, 3.

Из этих таблиц можно сделать вывод, что 100% рабочих мест мастеров и электромонтеров по ремонту ВЛЭП на предприятиях МЭС Урала отнесены к рабочим местам с вредными условиями труда.

Путем внедрения организационно-технических мероприятий возможно частичное снижение или полное устранение вредного воздействия следующих производственных факторов:

- электромагнитные поля ВДТ и ПЭВМ;
- освещенность рабочей поверхности;
- коэффициент пульсации освещенности.

На значения таких факторов, как шум, локальная вибрация, температура воздуха, которые воздействуют на персонал при ведении работ на линиях электропередачи, в настоящее время воздействие практически невозможно.

Таблица 2

**Распределение рабочих мест электромонтеров по ремонту ВЛЭП по условиям труда с учетом производственных факторов**

Производственный фактор	Класс условий труда		
	3.1	3.2	3.3
Температура воздуха (холодный период года)	8	—	—
ТНС-индекс	5	—	—
Освещенность рабочей поверхности	2	2	—
Коэффициент пульсации освещенности	6	—	—
Электрическое поле промышленной частоты	14	—	—
Шум	—	—	15
Локальная вибрация	12	—	—
Тяжесть трудового процесса	—	15	—
<b>Общий класс условий труда</b>	—	—	15

Таблица 3

**Распределение рабочих мест мастеров по ремонту ВЛЭП по условиям труда с учетом производственных факторов**

Производственный фактор	Класс условий труда		
	3.1	3.2	3.3
Температура воздуха (холодный период года)	5	—	—
ТНС-индекс	2	—	—
Освещенность рабочей поверхности	5	1	—
Коэффициент пульсации освещенности	6	—	—
Аэроионизация воздуха	5	—	—
Электрическое поле промышленной частоты	12	—	—
Шум	2	—	—
Напряженность трудового процесса	3	8	—
<b>Общий класс условий труда</b>	4	11	—

На изменение класса условий труда остальных факторов производственной среды (электрическое поле промышленной частоты, тяжесть и напряженность трудового процесса, микроклимат) возможно повлиять путем изменения технологии ведения работ на линиях электропередачи.



При проведении оценки вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала наиболее целесообразным и эффективным является применение логико-вероятностного метода, достоинствами которого являются исключительная четкость, однозначность и большие возможности при анализе влияния любого элемента на надежность и безопасность всей системы.

Большинство известных моделей, разработанных на основе логико-вероятностного моделирования, посвящены определению риска электропоражения, но ни в одной из них не рассчитывается вероятность повреждения здоровья от опасных и вредных производственных факторов неэлектрического характера.

Разработанная с участием автора логико-вероятностная модель (рис. 1) отражает процесс возникновения повреждения здоровья линейного персонала при ведении работ по техническому обслуживанию ВЛ СВН.

Расшифровка элементов логико-вероятностной модели по событиям, заключенным в них, и значения их вероятностей представлены в табл. 4.

Таблица 4

Вероятности событий, образующих ЛВМ

	Расшифровка события	P'	P	P''
X <sub>1</sub>	Воздействие параметров микроклимата на открытой территории в холодный период года	0,056	0,062	0,068
X <sub>2</sub>	Воздействие параметров микроклимата на открытой территории в теплый период года	0,85	0,93	1,0
X <sub>3</sub>	Нападение диких животных	0,0128	0,0135	0,0142
X <sub>4</sub>	Воздействие электрического поля при ведении работ с земли	0,875	0,882	0,889
X <sub>5</sub>	Влияние тяжести труда при ведении осмотра ВЛ и трассы на лыжах	0,045	0,055	0,065
X <sub>6</sub>	Воздействие шума от снегохода	0,004	0,007	0,011
X <sub>7</sub>	Воздействие общей вибрации от снегохода	0,004	0,007	0,011
X <sub>8</sub>	Нападение домашних животных	0,021	0,026	0,031
X <sub>9</sub>	Укусы змей	0,0	0,0	0,46
X <sub>10</sub>	Укусы кровососущих (комары, клещи, и др.)	0,39	0,44	0,49
X <sub>11</sub>	Влияние тяжести труда при ведении осмотра ВЛ и трассы пешим порядком	0,1	0,14	0,18
X <sub>12</sub>	Воздействие шума от автомобильного транспорта	0,004	0,008	0,012
X <sub>13</sub>	Воздействие общей вибрации от автомобильного транспорта	0,004	0,008	0,012
X <sub>14</sub>	Воздействие шума от воздушного транспорта	0,0	0,0	0,46
X <sub>15</sub>	Воздействие общей вибрации от воздушного транспорта	0,0	0,0	0,46
X <sub>16</sub>	Возможность падения с высоты	0,0	0,0	0,46
X <sub>17</sub>	Воздействие магнитного поля при ведении работ с подъемом на опору	0,08	0,11	0,14
X <sub>18</sub>	Воздействие электрического поля при ведении работ с подъемом на опору	0,08	0,11	0,14
X <sub>19</sub>	Воздействие магнитного поля при ведении работ с земли	0,8	0,89	0,98
X <sub>20</sub>	Влияние тяжести труда при ведении верхового осмотра опор ВЛ	0,08	0,11	0,14
X <sub>21</sub>	Воздействие шума от бензопил, кусторезов и др.	0,61	0,68	0,75
X <sub>22</sub>	Влияние тяжести труда при ведении работ по расчистке трассы ВЛ	0,61	0,68	0,75
X <sub>23</sub>	Воздействие локальной вибрации при ведении работ по расчистке трасс ВЛ	0,61	0,68	0,75
X <sub>24</sub>	Влияние напряженности труда	0,54	1,0	1,0
X <sub>25</sub>	Воздействие электромагнитного излучения	0,54	1,0	1,0

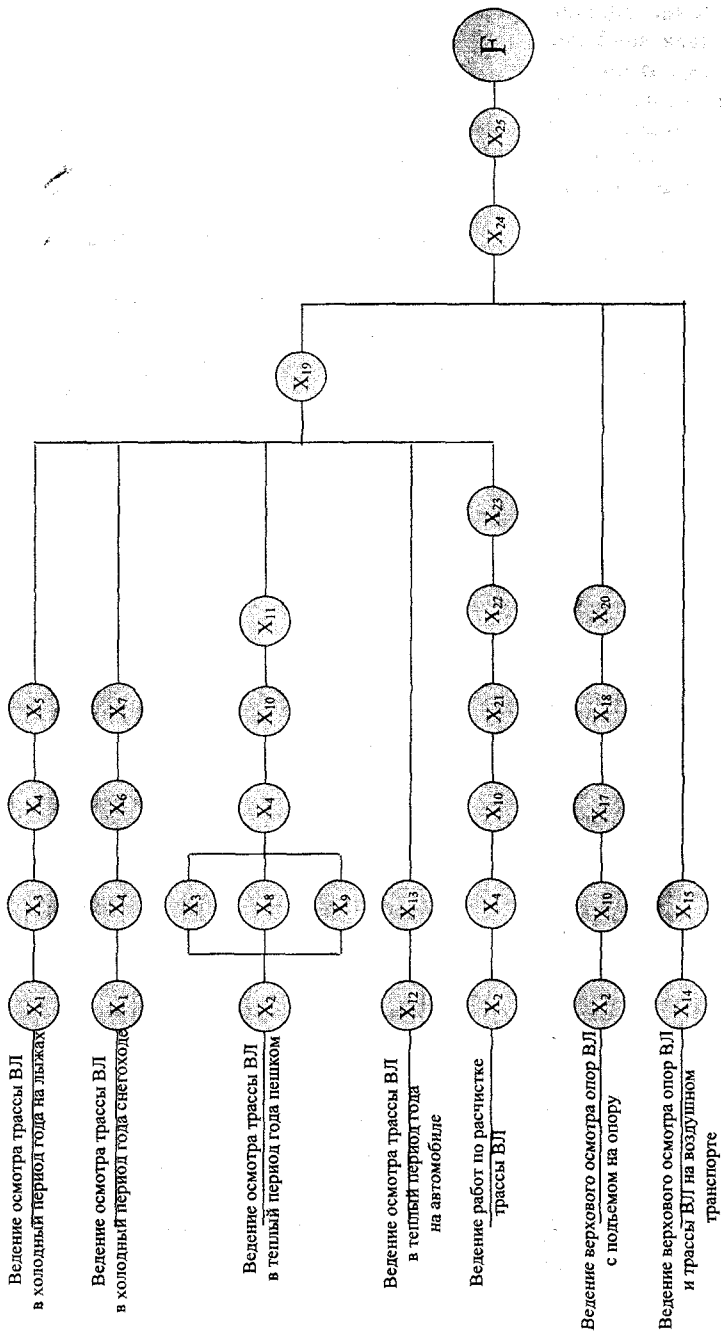


Рис. 1. Логико-вероятностная модель оценки вероятности повреждения здоровья для персонала ВЛ СВН

Для определения значений вероятностей событий были использованы:

- метод экспертной оценки ( $X_3, X_8, X_9, X_{10}$ );
- анализ технологических карт, карт аттестации рабочих мест по условиям труда и справочников по климатологии ( $X_1, X_2, X_5, X_6, X_7, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}$ );
- анализ технологических карт и карт распределения напряженности электрического и магнитного полей вдоль линий электропередачи ( $X_4, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{25}$ );
- анализ травматизма ( $X_{16}$ ).

Для снижения уровня неопределенности в моделировании процесса возникновения повреждения здоровья при ведении работ по техническому обслуживанию линий электропередачи используются нечеткие вероятности структурных элементов, задаваемые в виде нечетких чисел.

Для определения вероятностей событий методом экспертных оценок была составлена анкета эксперта. В состав экспертной группы вошли специалисты со стажем работы в действующих электроустановках от 5 до 25 лет. По результатам анкетирования была составлена сводная таблица (табл. 5), на основе которой были определены нечеткие вероятности соответствующих структурных элементов логико-вероятностной модели.

Таблица 5

Результаты анкетирования экспертов

№ эксперта	Стаж работы в действующих ЭУ	Укусы клещей	Укусы змей	Нападение домашних животных	Нападение диких животных
1	25 лет	30	—	2	2
2	9 лет	7	—	2	—
3	14 лет	10	—	—	—
4	16 лет	4	—	—	—
5	4,5 года	—	—	—	—
6	10 лет	12	—	—	—
7	12 лет	7	—	6	—
8	22 года	2	—	—	1
9	12	1	—	—	—
10	22	1	—	—	—
11	12	2	—	—	—
12	21	2	—	—	1
13	7	—	—	—	—
14	10	15	—	—	—

По результатам анализа плана технического обслуживания ВЛ 500 кВ по ЧПМЭС и технологических карт на выполнение отдельных видов работ было определено время, затрачиваемое электротехническим персоналом на различные виды работ по техническому обслуживанию ВЛ СВН (табл. 6).

Исходя из этих данных рассчитывались вероятности событий, образующих логико-вероятностную модель, которые также представлены в виде нечетких чисел.

Таблица 6

Затрачиваемое время на работы по техническому обслуживанию ВЛ СВН в год

№ п/п	Вид работ	Время, ч
1	Работы по расчистке трассы ВЛ	239,875
2	Ведение осмотра трассы ВЛ на лыжах	19,419
3	Ведение осмотра трассы ВЛ на снегоходе	1,561
4	Ведение осмотра трассы ВЛ пешком	48,715
5	Ведение осмотра трассы ВЛ на автомобиле	2,339
6	Ведение верхового осмотра опор ВЛ	37,75

Учитывая вышеизложенное, был произведен расчет вероятности итогового события логико-вероятностной модели F – вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при ведении работ по техническому обслуживанию ВЛ СВН. Она представляет собой нечеткое число с треугольным заданием функции принадлежности:  $\tilde{P}_F = (0; 0,103; 1)$

Разработанная и рассчитанная логико-вероятностная модель в дальнейшем используется для оценки влияния отдельных элементов модели на вероятность повреждения здоровья.

Для каждого элемента модели были рассчитаны следующие показатели:

- весомость (опасностная ( $G_{oi}$ ) или безопасностная ( $G_{би}$ ));
- значимость (опасностная ( $K_{оzi}$ ) или безопасностная ( $K_{бзи}$ ));
- коэффициент опасности ( $K_o$ ).

Наибольший интерес представляет собой коэффициент опасности – показатель, отражающий одновременно вероятностные характеристики события и степень его влияния на изменения вероятности конечного события.

Коэффициент опасности рассчитывался по формуле:

$$K_o = P(X_i) \cdot \left( \frac{\partial P(F)}{\partial P(X_i)} \right), \quad (1)$$

где  $P(X_i)$  – вероятность i-го события;

$$\frac{\partial P(F)}{\partial P(X_i)} = P(F_i)^1 - P(F_i)^0, \quad (2)$$

где  $P(F_i)^1$  и  $P(F_i)^0$  – вероятности риска повреждения здоровья при достоверном наличии i-го опасного события ( $P(X_i)=1$ ) и при его абсолютном отсутствии ( $P(X_i)=0$ ) соответственно.

Значения коэффициентов опасности для логико-вероятностной модели приведены в табл. 7.

Наибольший коэффициент опасности имеют события  $X_2$  (воздействие параметров микроклимата на открытой территории в теплый период года),  $X_{10}$  (укусы кровососущих),  $X_{24}$  (влияние напряженности труда),  $X_{25}$  (воздействие электромагнитного излучения). Это означает, что воздействие этих параметров оказывает существенное влияние на повреждение здоровья. Следовательно, уменьшение значений вероятностей этих событий будет способствовать снижению вероятности конечного события – повреждения здоровья.

Коэффициенты опасности элементов логико-вероятностной модели

Обозначение события	Коэффициент опасности ( $K_o$ )	Обозначение события	Коэффициент опасности ( $K_o$ )	Обозначение события	Коэффициент опасности ( $K_o$ )
$X_1$	0,000062	$X_{10}$	0,103	$X_{19}$	0,103
$X_2$	0,103	$X_{11}$	0,00154	$X_{20}$	0,00044
$X_3$	0,00055	$X_{12}$	0,000048	$X_{21}$	0,101
$X_4$	0,103	$X_{13}$	0,000048	$X_{22}$	0,101
$X_5$	0,000055	$X_{14}$	0	$X_{23}$	0,101
$X_6$	0	$X_{15}$	0	$X_{24}$	0,103
$X_7$	0	$X_{16}$	0	$X_{25}$	0,103
$X_8$	0,001	$X_{17}$	0,00044		
$X_9$	0	$X_{18}$	0,00044		

Исключить или снизить время воздействия ОиВПФ на электротехнический персонал позволит применение дистанционно пилотируемых летательных аппаратов для ведения работ по техническому обслуживанию ВЛ СВН.

Для ведения осмотров трассы ВЛ предлагается использовать дистанционно-пилотируемый летательный аппарат (ДПЛА), разработанный в ЮУрГУ. С его помощью возможно выявлять неисправности следующих элементов ВЛЭП: трасс, опор и фундаментов, проводов и грозозащитных тросов.

При неисправностях в работе ДПЛА возможно отклонение его от курса и падение. При этом имеется вероятность его падения на провода ВЛ или кратковременного нахождения между фазными проводами. В этом случае необходимо оценить вероятность обрыва провода или междуфазного короткого замыкания через поверхность аппарата.

Проведенный расчет на механическую прочность проводов ВЛ и грозозащитных тросов показал, что механические напряжения, создаваемые ДПЛА при падении его на провод будут зависеть только от высоты полета ДПЛА над проводом: при изменении высоты полета от 1 до 50 м механическое напряжение будет изменяться от 4 до 56 Н/мм<sup>2</sup> (рис. 2).

Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\sigma_{\text{дпла}} + \sigma \leq [\sigma]_{\text{нб}}$$

где  $\sigma_{\text{дпла}}$  – механическое напряжение в проводе, создаваемое ДПЛА при падении его на провод;

$\sigma$  – механическое напряжение в проводе, создаваемое собственным весом, гололедными образованиями и температурой;

$[\sigma]_{\text{нб}}$  – допустимое напряжение в проводе при наибольшей нагрузке.

Решив это неравенство получим, что для обеспечения безопасности ВЛ необходимо ограничить высоту полета ДПЛА над проводом тридцатью метрами. Этого расстояния более чем достаточно для выполнения поставленных задач.

Аналогичный расчет был проведен для грозозащитного троса. Для обеспечения безопасности необходимо ограничить высоту полета ДПЛА над грозозащитным тросом двадцатью одним метром.

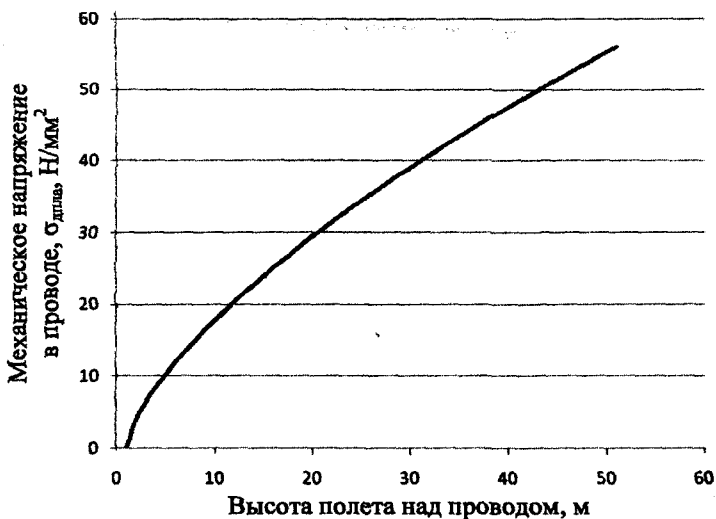


Рис. 2. Механические напряжения, создаваемые падением ДПЛА на провод ВЛ

При отклонении ДПЛА от курса возможно его снижение и кратковременное появление между фазными проводами. Корпуса известных нам ДПЛА выполняются из диэлектрического материала. Кроме того, внутри корпуса имеются различные элементы, состоящие полностью из металла или включающие его. При полете ДПЛА возможно его попадание в зону осадков, что приведет к появлению влаги на корпусе.

Все перечисленное выше при определенных условиях может привести к короткому замыканию между фазами. В этом случае ДПЛА выйдет из строя и упадет на землю, т.е. причина короткого замыкания исчезнет. Поэтому автоматическое повторное включение, предусмотренное на линиях сверхвысокого напряжения, будет успешным и перерыва в электроснабжении не произойдет.

Таким образом, выполненные расчеты и логические рассуждения позволяют утверждать, что применению ДПЛА нет ограничений. Установлено только предельное удаление по высоте от ВЛ СВН.

Для ведения верхового осмотра опор ВЛ без подъема на опору возможно применение дистанционно пилотируемого миниатюрного летательного аппарата (ДМЛА), разработанного в ЮУрГУ. С его помощью возможно выявлять неисправности следующих элементов ВЛЭП: контактных соединений, линейной арматуры и заземляющих устройств.

Персонал, осуществляющий осмотр, будет находиться в непосредственной близости от опоры, и производить запуск ДМЛА в зону ведения осмотра. Одного запуска ДМЛА без подзарядки будет достаточно для осмотра 3 – 4 опор.

Применение ДМЛА при ведении верховых осмотров опор ВЛ позволит исключить воздействие на электротехнический персонал электрического и магнитного поле промышленной частоты при подъеме на опору, влияние тяжести труда при ведении верховых осмотров. Так как человек будет находиться в непосредственной близости от опоры, это позволит практически полностью исключить воздействие на него электрического поля (будет происходить экранирование от опоры).

Использование ДПЛА для ведения осмотров ВЛ и ДМЛА для ведения верховых осмотров опор ВЛ позволит снизить время нахождения электротехнического персонала в зоне отчуждения линии электропередачи, тем самым обеспечит исключение или снижение времени воздействия на персонал опасных и вредных производственных факторов.

Изменение технологии ведения работ по техническому обслуживанию ВЛ СВН внесет некоторые изменения в значения вероятностей событий, образующих ее.

С учетом этих изменений был проведен перерасчет вероятностей событий, образующих логико-вероятностную модель и вероятность конечного события – повреждения здоровья электротехнического персонала при ведении работ по обслуживанию ВЛ СВН. Она представляет собой нечеткое число с треугольным заданием функции принадлежности:  $\bar{P}_F = (0; 0,044; 1)$

Таким образом, внедрение рассмотренных в диссертационной работе предложений по изменению технологии ведения работ на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения позволит снизить вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала в 2,5 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-технической задачи: с помощью логико-вероятностного моделирования определена вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала и предложены мероприятия по снижению вероятности повреждения здоровья.

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие результаты и выводы:

1. Выполнен анализ результатов аттестации рабочих мест электромонтеров и мастеров по ремонту воздушных линий электропередачи по условиям труда филиала ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Урала. Все рабочие места отнесены к работам с вредными условиями труда различной степени вредности. Выявлены основные вредные производственные факторы, присутствующие на данных рабочих местах.

2. Применительно к воздушным линиям электропередачи сверхвысокого напряжения впервые разработана логико-вероятностная модель оценки вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при ведении работ по их техническому обслуживанию.

3. Для разработанной модели определены вероятности событий на примере филиала ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Урала – Челябинского предприятия магистральных электрических сетей. Для снижения уровня неопределенности в процессе моделирования вероятности структурных элементов заданы в виде нечетких чисел. Вероятность конечного события  $F$  – повреждения здоровья – представляет собой нечеткое число с треугольным заданием принадлежности:  $\tilde{P}_F = (0; 0,103; 1)$ .

4. Разработаны мероприятия по снижению воздействия опасных и вредных производственных факторов на электротехнический персонал. Для ведения осмотра трассы воздушной линии электропередачи и обнаружения неисправностей опор и фундаментов предложено использовать дистанционно пилотируемый летательный аппарат. Для ведения верхового осмотра опор воздушных линий электропередачи и обнаружения неисправностей контактных соединений, линейной арматуры и заземляющих устройств предложено использовать дистанционно пилотируемый миниатюрный летательный аппарат.

5. Выполненные расчеты и проведенные логические рассуждения позволяют утверждать, что применение дистанционно пилотируемого летательного аппарата и дистанционно пилотируемого миниатюрного летательного аппарата не приведет к каким-либо повреждениям воздушных линий электропередачи при утрате управляемости этими аппаратами. При этом удаление дистанционно пилотируемого летательного аппарата от фазного провода не должно превышать 30 м, а от грозозащитного троса – 22 м.

6. Применение дистанционно пилотируемого летательного аппарата и дистанционно пилотируемого миниатюрного летательного аппарата при ведении работ по техническому обслуживанию воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения позволит исключить или снизить время воздействия на электротехнический персонал опасных и вредных производственных факторов. Внедрение рассмотренных в диссертационной работе предложений по изменению технологии ведения работ на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения позволит снизить вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала в 2,5 раза.

#### **Научные публикации по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК**

1. Балашова, И.В. Организация контроля за состоянием линий электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / И.В. Балашова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2004. – № 3. – С. 27–35.

2. Скуртова, И.В. Логико-вероятностная модель оценки профессионального риска для персонала воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / И.В. Скуртова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2006. – № 2. – С. 15–19.



3. Скуртова, И.В. Определение вероятностей событий, образующих логико-вероятностную модель [Текст] / И.В. Скуртова, О.В. Номоконова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2006. – № 3–4. – С. 10–15.

#### Другие научные публикации по теме диссертации

4. Балашова, И.В. Применение летательного аппарата для контроля охранной зоны линии электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / И.В. Балашова, В.Б. Федоров // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2004. – Т.4. – С. 67–68.

5. Балашова, И.В. Организация контроля за состоянием элементов воздушной линии электропередачи с помощью миниатюрного летательного аппарата [Текст] / И.В. Балашова, В.Б. Федоров // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2004. – Т.4. – С. 65–67.

6. Балашова, И.В. Разработка технологии контроля состояния линейной арматуры линий электропередачи [Текст] / И.В. Балашова // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской обл.: Сб. рефератов научно-исследовательских работ студентов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – С. 213.

7. Балашова, И.В. Разработка технологии контроля состояния линейной арматуры линий электропередачи [Текст] / И.В. Балашова // Образование, наука, производство: Второй международный студенческий форум: сб. тезисов докладов. – Белгород: БГТУ, 2004. – С. 216.

8. Скуртова, И.В. Опасные и вредные производственные факторы, характеризующие работы на линиях электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / И.В. Скуртова // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2006. – Т.4. – С. 117–122

9. Скуртова, И.В. Анализ условий труда линейного персонала [Текст] / И.В. Скуртова // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2007. – Т.4. – С. 134–137.

10. Скуртова, И.В. Оценка воздействия на фазные провода дистанционно пилотируемого летательного аппарата, предназначенного для осмотра ВЛ, при возникновении нештатных ситуаций [Текст] / И.В. Скуртова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2007. – № 1. – С. 8–16.

11. Скуртова И.В. Применение дистанционно пилотируемого летательного аппарата для контроля воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / И.В. Скуртова // Дальневосточная весна – 2008: Всерос. междунар. науч.-практич. конф.: сб. материалов – Комсомольск-на-Амуре: ГОУ ВПО «КНАГТУ», 2008 – С. 231–232.