

Б.И. Косарев, Я.А. Зельвянский, Ю.Г. Сибаров

**ЭЛЕКТРО-
БЕЗОПАСНОСТЬ
В СИСТЕМЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНО-
ДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

Издательство Транспорт.

*Борис Иванович Косарев,
Яков Аронович Зельвянский,
Юрий Германович Сибаров*

**Электробезопасность
в системе электроснабжения
железнодорожного транспорта**

Обложка художника *Е. Н. Волкова*
Технические редакторы
Д. В. Ахмеджанова, Л. А. Кульбачинская
Корректор-вычитчик *Л. В. Ананьева*
Корректор *Г. А. Попова*

ИБ № 2080

Сдано в набор 15.07.82. Подписано в печать 04.02.83.
Т-03049. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнитура
литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 12,5.
Усл. кр.-отт. 12,75. Уч.-изд. л.
Заказ 1067. Изд. № 1-3-1/5

Издательство «ТР»
107174. Москва, Басм

Московская типография №
при Государственном
по делам издательств, полигра
129041, Москва, Б. Пер

Б. И. КОСАРЕВ, Я. А. ЗЕЛЬВЯНСКИЙ

ЭЛЕКТРО- БЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Под редакцией
доктора техн. наук Б. И. КОСАРЕВА*



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1983

Косарев Б. И., Зельвянский Я. А., Сибаров Ю. Г. Электробезопасность в системе электроснабжения железных дорог. — М.: Транспорт, 1983, 200 с.

Изложены вопросы, касающиеся безопасного обслуживания устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог. Рассмотрены особенности оценки электробезопасности, современные понятия о природе появления опасных режимов в устройствах электроснабжения.

Приведены результаты исследований напряжений, возникающих в зонах нахождения персонала при коротких замыканиях в тяговых сетях постоянного и переменного тока. Обоснованы методы расчета естественных и искусственных заземлителей, сооружаемых в районах европейской части СССР и Байкало-Амурской магистрали. Дана оценка электробезопасности для несимметричных режимов работы электроустановок в зонах электромагнитного влияния.

Описаны защитные меры по предотвращению поражений электрическим током при эксплуатации устройств электроснабжения железных дорог.

Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников, связанных с проектированием, исследованием, постройкой и эксплуатацией устройств электрической тяги магистрального и промышленного транспорта, а также может быть полезна аспирантам и студентам электротехнических специальностей транспортных вузов.

Ил. 96, табл. 40, библиогр. 80 назв.

Книгу написали:

пп. 1.3—1.5, гл. 2, 3, 4, 5, пп. 7.1, 7.4 — Б. И. Косарев; пп. 1.1, 6.4—6.7, 7.5 — Я. А. Зельвянский; п. 1.2, гл. 8 — Ю. Г. Сибаров; пп. 6.1—6.3, 7.2, 7.3 — Б. И. Косарев и Я. А. Зельвянский совместно.

Рецензенты: Доктор техн. наук, проф. кафедры «Охрана труда» Московского энергетического института П. А. Долин; зам. заведующего отдела «Охрана труда» ЦК профсоюза работников железнодорожного транспорта и транспортного строительства Д. Н. Смирнов.

Заведующий редакцией Н. В. Зенькович.

Редактор М. П. Сазонова.

ОТ АВТОРОВ

В результате неослабного внимания к вопросам охраны труда, внедрения прогрессивной технологии и современных средств защиты от поражения электрическим током уровень электротравматизма на железнодорожном транспорте из года в год снижается.

Разработка и применение средств защиты персонала от поражения электрическим током неразрывно связаны с анализом напряжений, возникающих в зонах нахождения персонала, обслуживающего устройства электроснабжения. Сложнейшие явления воздействия электрического тока на организм человека изучали видные советские ученые — физиологи и электротехники такие, как С. П. Власов, Н. Л. Гурвич, А. П. Киселев, В. И. Шуцкий, Б. А. Ягудаев и другие.

Большой вклад в создание и совершенствование принципов и средств защиты от поражения электрическим током внесли ученые: П. А. Долин, Р. Н. Карякин, Б. А. Князевский, Г. Н. Косолапов, Б. Г. Меньшов, М. П. Ратнер, Е. Ф. Цапенко и другие.

В данной книге отражены результаты научных исследований лаборатории «Электробезопасность на железнодорожном транспорте» кафедры «Охрана труда» Московского института инженеров железнодорожного транспорта (МИИТа) и обобщены отдельные ранее опубликованные исследования в этой области.

При создании книги авторы стремились осветить проблему электробезопасности на электрифицированных железных дорогах с позиций современного состояния транспортной науки. Приводимые математические обоснования закономерностей отдельных явлений и переходных процессов даны в пределах курса высшей математики.

Авторы стремились рассмотреть явления и процессы, природа которых недостаточно изучена или исследована, надеясь, что это будет способствовать дальнейшему развитию охраны труда на электрифицированных железных дорогах.

Авторы выражают искреннюю признательность за ценные замечания и помощь в подготовке рукописи к изданию рецензентам д-ру техн. наук, проф. кафедры «Охрана труда» Московского энергетического института П. А. Долину и зам. заведующего отдела «Охрана труда» ЦК профсоюза работников железнодорожного транспорта и транспортного строительства Д. Н. Смирнову.

Все замечания и пожелания по содержанию и оформлению книги будут приняты авторами с благодарностью. Просьба направлять их по адресу: 107174, Москва, Басманный тупик, д. 6а, издательство «Транспорт».

ГЛАВА 1

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА¹

Для исследования электротравматизма на железнодорожном транспорте используют статистические и технические методы анализа [58].

Статистический метод включает сбор сведений об электротравмах и их классификацию, накопление и систематизацию материала, разделение несчастных случаев по характерным признакам. К последним следует отнести обученность работника практическому умению выполнения данного вида работы, знание условий безопасного ее производства, соблюдение требований наряда и инструктажа, стаж обслуживания данной электроустановки, влияние погодных условий и режима работы, как в период ее подготовки, так и при непосредственном выполнении (продолжительность «окна», предоставленного для работы, при выполнении которой произошла электротравма).

Для сбора сведений об электротравмах, для ускорения и облегчения их обработки разработана ИПС — информационно-поисковая система [16]. Носителем информации служит карта К5 «Карта электротравмы на производстве железнодорожного транспорта» с краевой перфорацией. Объект информации — электротравма.

Основные данные электротравмы вынесены на краевую перфорацию лицевой стороны карты (рис. 1.1, а). На ее обратной стороне нанесена текстовая информация об электротравме (рис. 1.1, б). Отметка информации на краевой части карты производится ключом «бесшумного поиска» 1—2—4—7. В кодовой зоне «месяц» используется треугольный ключ, а в кодовой зоне «годы» — отборный ключ ($k = 4$, $n = 4$).

Применение ИПС на железнодорожном транспорте позволяет ввести единую оценку в классификации данных об электротравмах, расширить объем информации и ее качество, своевременно разрабатывать эффективные и научно обоснованные организационные и технические меры по предупреждению электротравм в электроустановках.

Статистический метод дает возможность оценивать уровень электротравматизма количественно и качественно посредством таких показателей, как коэффициент частоты (K_q), исчисляемый на 1000

¹ В написании параграфа принимал участие канд. техн. наук А. М. Лукьянов.

а — лицевая сторона; б — оборотная

Динамика электротравматизма в хозяйстве электрификации
и энергетики МПС

t	Общий электро- травма- тизм в % к базовому году	В том числе по эле- ментам электроснаб- жения, %		t	Общий электро- травма- тизм в % к базовому году	В том числе по эле- ментам электроснаб- жения, %	
		контакт- ная под- веска и ее оборудо- вание	тяговые подстан- ции			контакт- ная под- веска и ее оборудо- вание	тяговые подстан- ции
1	100	29,41	20,588	8	100,0	29,41	17,647
2	86,294	38,23	5,88	9	82,35	35,29	8,82
3	64,705	32,35	2,941	10	85,29	41,176	2,941
4	67,64	26,47	8,82	11	120,58	42,35	29,41
5	123,529	50,0	32,35	12	82,35	29,411	17,647
6	150,0	64,705	20,58	13	67,64	35,29	5,88
7	114,705	38,23	23,5294				

человек списочного состава работающих, коэффициент тяжести (K_T), коэффициент минимальных материальных потерь (K_{II}):

$$K_{II} = \frac{N}{A} 10^3; \quad K_T = \frac{C}{N}; \quad K_{II} = \frac{C}{A},$$

где N — число учитываемых случаев электротравм;
 A — списочный состав работающих в отчетном периоде;
 C — суммарное время нетрудоспособности, в днях, по больничным ли-
 стам.

Коэффициент тяжести не включает в себя случаи со смертельным исходом и тяжелые случаи, приведшие к инвалидности.

Показатели производственного травматизма имеют различные по годам значения. В табл. 1.1 показаны, например, данные об электротравматизме в хозяйстве электрификации и энергетики за 13 лет начиная с 1964 г. (t — ряд лет от 1 до 13).

Для выявления характера изменения электротравматизма можно использовать метод математической статистики или метод скользящих трендов.

Этот метод позволяет разложить исходные статистические данные о производственном травматизме $y(t)$ за ряд лет, т. е. разложить временной ряд на случайную составляющую и основную тенденцию (тренд). Для определения фаз движения скользящего тренда по ряду наблюдений за $n=13$ лет примем интервал сглаживания $k=5$.

Уравнение, описывающее изменение уровня травматизма $y_i(t)$, имеет вид:

$$y_i(t) = a_i + b_i t,$$

$$\text{где } i=1, 2, \dots; n-k+1; \quad a_i, b_i \text{ — параметры уравнения.} \quad (1.1)$$

Причем для

$$\begin{aligned} i=1 & \quad t=1, 2, \dots, k; \\ i=2 & \quad t=2, 3, \dots, k+1; \\ i=n+k+1 & \quad t=n-(k+1), n-(k+2), \dots, n. \end{aligned}$$

Для определения параметров $\langle a_i; b_i \rangle$ уравнения применим метод наименьших квадратов. Для построения тренда вычислим значения $y_i(t)$ в точках $t = i + h - 1$ ($h = 1, 2, \dots, k$).

Тренд в точке $t = i$ определяют путем усреднения числа q_i линейных выражений для данной точки:

$$\bar{y}_i(t) = \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{q_i} y_i(t); (j=1; 2; \dots; q_i). \quad (1.2)$$

Найденные точки $\bar{y}_i(t)$ образуют тренд исследуемого временного ряда, выраженного ломаной линией.

По данным табл. 1.1 для $k = 5$ получены уравнения отдельных фаз движения скользящего тренда динамики электротравматизма. Так, для общего электротравматизма получены следующие уравнения:

$t=1, 2, 3, 4, 5$	$y_1(t) = 79,41 + 2,94t;$
$t=2, 3, 4, 5, 6$	$y_2(t) = 22,94 + 18,82t;$
$t=3, 4, 5, 6, 7$	$y_3(t) = 12,94 + 18,24t;$
$t=4, 5, 6, 7, 8$	$y_4(t) = 77,64 + 5,59t;$
$t=5, 6, 7, 8, 9$	$y_5(t) = 206,77 - 13,24t;$
$t=6, 7, 8, 9, 10$	$y_6(t) = 235,89 - 16,18t;$
$t=7, 8, 9, 10, 11$	$y_7(t) = 103,25 - 0,30t;$
$t=8, 9, 10, 11, 12$	$y_8(t) = 91,18 + 0,29t;$
$t=9, 10, 11, 12, 13$	$y_9(t) = 123,24 - 3,24t$

На основании этих уравнений определяют скользящий тренд по формуле (1.2). В точке $t = 1$ можно найти только одно значение $\bar{y}$. Исходя из уравнения $y_i(t) = 79,41 + 2,94t$ имеем $\bar{y}_1(t) = 82,35$. В точке $t = 2$ $\bar{y}_2(t)$, $i = 1; 2$ из уравнений

$$\begin{aligned} y_1(t) &= 79,41 + 2,94t; \\ y_2(t) &= 22,94 + 18,82t, \end{aligned}$$

откуда $\bar{y}_2(t) = \frac{85,29 + 60,59}{2} = 72,94$. Аналогично рассчитывают и остальные фазы движения скользящего тренда.

Скользящие тренды, как для общего электротравматизма, так и отдельно для контактной сети и тяговых подстанций, показывают, что уровень электротравматизма не имеет существенной тенденции к снижению. На тяговых подстанциях также не видна тенденция к снижению, хотя по абсолютным величинам здесь число случаев в 2 раза меньше, чем на контактной сети. Распределение электротравм при обслуживании устройств с разным родом тока и соответствующая протяженность электрифицированных линий даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Распределение электротравм на контактной подвеске
и ее оборудовании в зависимости от рода тока и протяженности
электрифицированных линий в % к базовому 1964 г.**

t	Число пострадавших, %			Протяженность линий, %		
	Переменный ток	Постоянный ток	Итого	Переменный ток	Постоянный ток	Итого
1	2	3	4	5	6	7
1	20	80	100	27,5	72,5	100
2	40	90	130	35,3	75,2	110,5
3	40	70	110	41,17	78,83	120,0
4	30	60	90	46,58	82,43	129,01
5	80	90	170	50,2	86,3	136,5
6	120	100	220	53,5	90,5	144,0
7	70	60	130	55,5	94,5	150,0
8	20	80	100	56,65	98,75	155,4
9	40	80	120	59,36	101,14	160,5
10	80	60	140	60,55	104,45	165,0
11	40	70	110	63,22	105,78	169,0
12	50	50	100	65,66	106,84	172,5
13	30	60	90	67,0	109,0	176,0

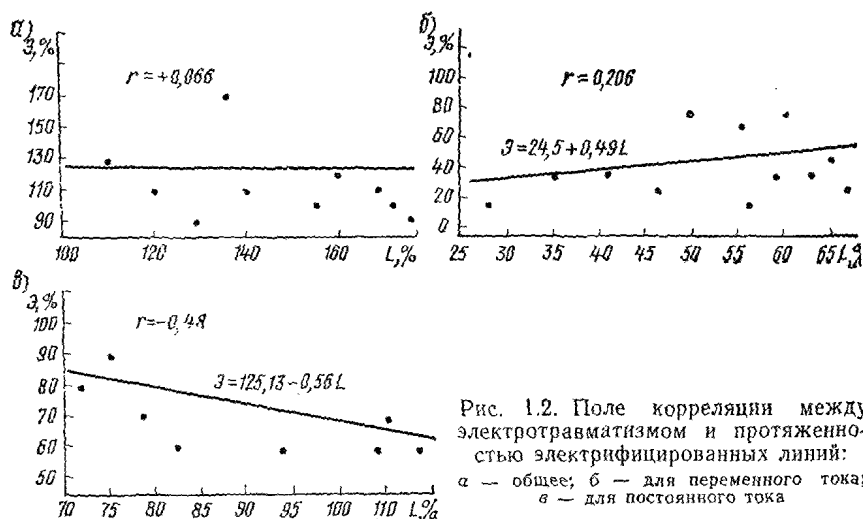
Рассчитанные по данным табл. 1.2 скользящие тренды для линий постоянного и переменного тока показывают заметный рост числа электротравм на переменном токе с увеличением протяженности электрифицированных линий. В то же время на контактной сети постоянного тока видна тенденция к заметному снижению. Метод скользящих трендов не дает возможности сделать вывод о влиянии на электротравматизм роста протяженности электрифицированных линий.

Проверить наличие взаимосвязи между уровнем электротравматизма $\mathcal{E}$ и протяженностью электрифицированных линий L возможно путем использования *метода парной корреляции* (взаимной связи). Исходные данные представлены в табл. 1.2 и на рис. 1.2. Для оценки тесноты и направления связи между рассматриваемыми параметрами $\mathcal{E}$ и L вычисляют коэффициент корреляции r [24]

$$r = \frac{n \Sigma \mathcal{E} L - (\Sigma \mathcal{E})(\Sigma L)}{\sqrt{[n \Sigma L^2 - (\Sigma L)^2][n \Sigma \mathcal{E}^2 - (\Sigma \mathcal{E})^2]}}$$

Значимость коэффициента корреляции оценивается с использованием преобразования Фишера, при котором $r = \text{th} Z$, где $Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$ сопоставляется с теоретическим $Z_{\text{кр}}$, найденным для заданной доверительной вероятности P_{β} .

Результаты расчетов коэффициентов корреляции, доверительных интервалов $r_{\text{д}}$, а также параметры Z и $Z_{\text{кр}}$ для контактной подвески и ее оборудования на постоянном и переменном токе приведены в табл. 1.3.



Отсутствие корреляционной зависимости между общим электротравматизмом и протяженностью электрифицированных линий дает основание заключить, что проводимые профилактические мероприятия позволяют нейтрализовать влияние роста протяженности электрифицированных железных дорог на электротравматизм. Вместе с тем существенная отрицательная корреляция $r = -0,478$ указывает на то, что, несмотря на увеличение протяженности линий постоянного тока, число электротравм непрерывно уменьшается. В то же время наличие слабой положительной корреляции $r = 0,206$ указывает на имеющуюся тенденцию незначительного роста числа электротравм с ростом протяженности линий переменного тока.

Таблица 1.3

Характеристика корреляционной зависимости между уровнем электротравматизма и протяженностью электрифицированных линий

Контактная подвеска и ее оборудование	r	Z	$P_{\beta} = 0,95$	r_d	Наличие связи
Общий электротравматизм	$-0,066$	$0,0601$	$0,518$	$-0,4219 - 0,5227$	Отсутствует
Электротравматизм на линиях переменного тока	$0,206$	$0,213$	$0,518$	$-0,3 - 0,623$	Слабая положительная корреляция
Электротравматизм на линиях постоянного тока	$-0,478$	$0,523$	$0,518$	$0,1 - 0,7779$	Существенная отрицательная связь

Поражение электрическим током возможно при совместном проявлении ряда событий, в том числе появлении (наличии) источника опасности, нахождении обслуживающего персонала в зоне действия этого источника. Появление источника опасности в электроустановке может быть обусловлено нарушением изоляционных свойств электрозащитных средств, несовершенством конструктивного исполнения и т. д. Нахождение обслуживающего персонала в зоне действия источника опасности может быть случайным или вызванным необоснованным риском или произвольными ошибками.

На примере особенности работ на контактной сети можно выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на электробезопасность. Для предупреждения электротравм важно установить причинно-следственные связи возникновения опасности поражения электрическим током. Можно выделить следующие четыре группы факторов, непосредственно или косвенно влияющих на появление электротравм: нарушение правил и инструкций по безопасности производства работ на контактной сети и в других устройствах электроснабжения; сложные условия работы, нарушения технологии, недостатки организации работ; недостатки технических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений. Факторы, входящие в перечисленные группы, показаны на рис. 1.3 в виде графа причинно-следственных связей.

В условиях совместного воздействия большого числа факторов необходима оценка их опасности с целью выбора эффективных путей борьбы с электротравматизмом. Для сравнительной оценки опасности различных факторов возможно использование экспертных методов исследования [24]. На основе графа причинно-следственных связей составляется анкета, в которой эксперт присваивает каждому фактору ранг, соответствующий, по мнению эксперта, уровню влияния фактора на электротравматизм. Степень согласованности мнений экспертов, или теснота ранговой корреляции, определяется коэффициентом конкордации W [24]

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right) - 0,5m(n+1) \right\}^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m \left[\frac{1}{12} \sum_{t_j} (t_j^3 - t_j) \right]},$$

где R_{ij} — ранг, присвоенный i -м экспертом ($i = 1, \dots, n$) j -му фактору ($j = 1, \dots, m$);
 t_j — число повторений каждого ранга в j -м ряду.

Для оценки значимости коэффициента конкордации при $n \geq 7$, как рекомендуется в работе [24], используется критерий χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m t_j}.$$

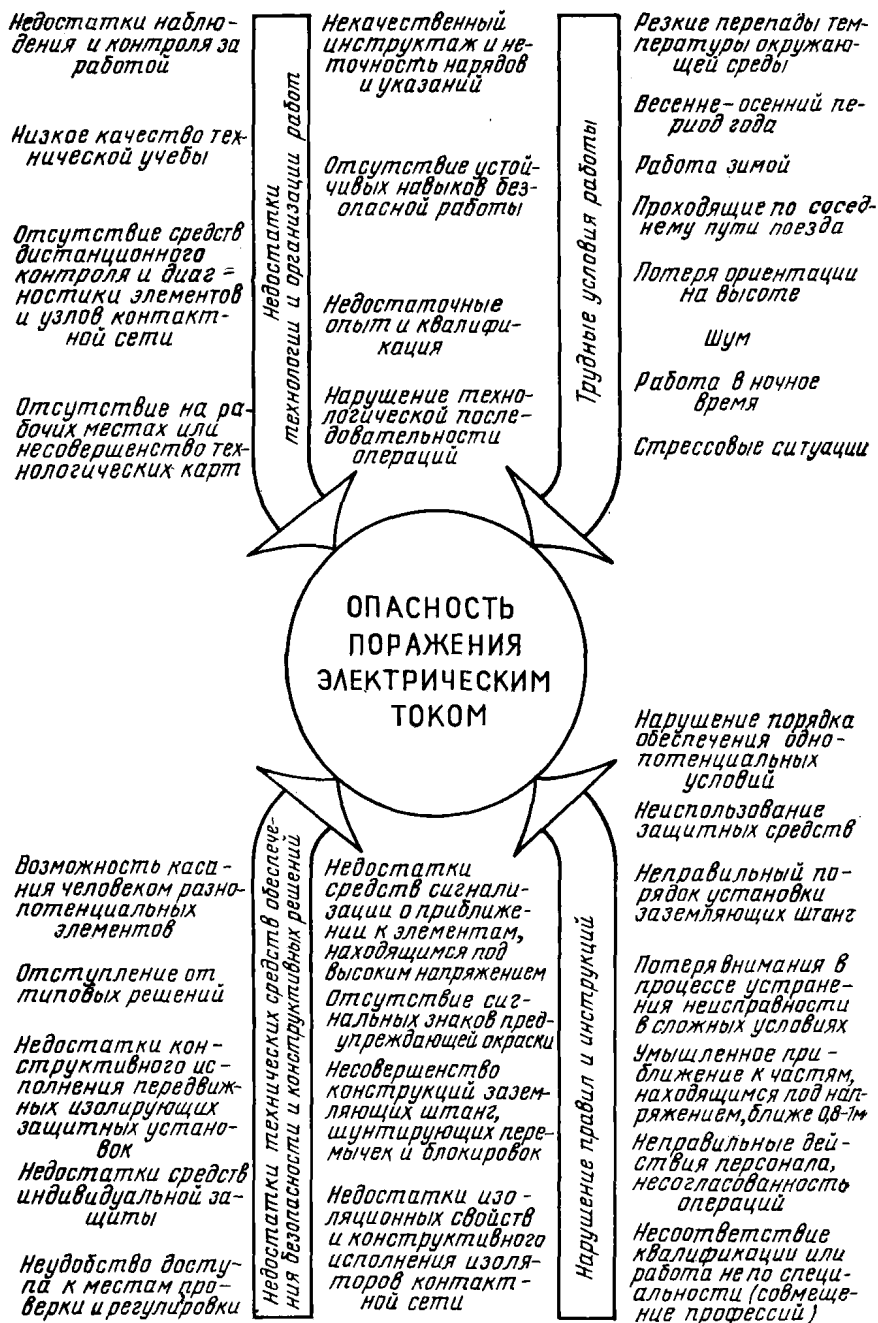


Рис. 1.3. Причинно-следственные связи опасности поражения электрическим током на контактной сети

Если $\chi^2 > \chi_{кр}$, т. е. превосходит критическую величину, определенную с $n - 1$ степенями свободы для заданного уровня значимости (5%), то гипотеза о наличии согласия экспертов при ранжировании факторов принимается. Ниже приведены результаты экспертного метода анализа электробезопасности обслуживания контактной сети. В качестве экспертов в первой группе выступали руководящие работники главка, служб и отделов электрификации и энергетического хозяйства, главные инженеры участков энергоснабжения, научные работники (26 чел.). Во вторую группу вошли инженеры, начальники и электромеханики дистанций контактной сети (12 чел.). Такое разделение экспертов на группы связано с тем, что по должностным обязанностям они имеют разное отношение к проблеме обеспечения электробезопасности персонала и поэтому возможна различная групповая оценка (табл. 1.4).

Из данных табл. 1.4 видно, что первая группа экспертов считает наиболее влиятельным фактором «неиспользование защитных средств». Вторая же группа экспертов отдала этому фактору лишь пятое место, поставив на первое место «потерю внимания в процессе устранения неисправности в сложных условиях». Первая группа поставила этот фактор на третье место. Отсюда видно, что эксперты первой группы требуют активизации субъективных факторов защиты, а вторые — создания объективных электрозащитных средств. Расчетные коэффициенты конкордации для первой группы экспертов $W_1 = 0,3$, а для второй $W_2 = 0,32$. Проверка по критерию χ^2 показала существенную согласованность внутри каждой группы экспертов. Связь между групповыми оценками определяется с помощью коэффициента Спирмэна [24]:

$$\rho_c = 1 - \frac{6S(d^2)}{n^3 - n}.$$

Полученный результат $\rho_c = 0,43$ свидетельствует о значимой корреляции и дает основание провести совместное ранжирование. Результаты такого ранжирования приведены на рис. 1.4.

Таблица 1.4

Упорядоченная последовательность ранжирования факторов «нарушение правил и инструкций»

Группы экспертов, разность показаний	Нарушение порядка обеспечения одно-потенциальных условий	Неиспользование защитных средств	Неправильные порядок установки и число заземляющих штанг	Потеря внимания в процессе устранения неисправности в сложных условиях	Умышленное приближение к частям, находящимся под напряжением, ближе 0,8—1 м	Неправильные действия персонала, несогласованность операций	Несоответствие квалификации или работности не по специальности (совмещение профессий)
Первая	5	1	2	3	7	4	6
Вторая	2	5	3	1	6	4	7
Разность d	3	-4	-1	2	1	0	-1
Разность d^2	9	16	1	4	1	0	1

Таблица 1.5

**Итоговые суммы рангов для групп факторов
(первая группа экспертов)**

Итоговые данные	Значения данных для факторов			
	Нарушение правил и инструкций	Трудные условия работы	Недостатки технологии и организации работ	Недостатки технических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений
Сумма рангов	38	78	78	66
Отклонение суммы от средней	-27	13	13	1
Квадрат отклонений	729	169	169	1
Оценка согласованности	$W=0,317; \quad Z=1,23; \quad \gamma_1=2,92;$			$\gamma_2=73,1; \quad Z_{кр}=0,47$

Таблица 1.6

**Итоговые суммы рангов для групп факторов
(вторая группа экспертов)**

Итоговые данные	Значение данных для группы факторов			
	Нарушение правил и инструкций	Трудные условия работы	Недостатки технологии и организации работ	Недостатки технических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений
Сумма рангов	23	33	39	25
Отклонение суммы рангов от средней	-7	+3	9	-5
Квадрат отклонений	49	9	81	25
Оценка согласованности	$W=0,228;$	$Z=0,59; \quad Z_{кр}=0,5262$	$\gamma_1=2,833;$	$\gamma_2=31,10$

На рис. 1.5, 1.6, 1.7 показаны результаты аналогичного ранжирования соответственно по факторам следующих групп: «трудные условия работы» ($\rho_c = 0,72$); «недостатки технологии и организации работ» ($\rho_c = 0,53$); «недостатки технических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений» ($\rho_c = 0,72$).

В табл. 1.5 и 1.6 представлены итоговые результаты соответственно для первой и второй групп экспертов.

Для оценки значимости коэффициента конкордации W использована аппроксимация, основанная на Z -распределении Фишера со степенями свободы γ_1 и γ_2 [24]:

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{(m-1)W}{1+W}; \quad \gamma_1 = n-1 - \frac{2}{m}; \quad \gamma_2 = (m-1)\gamma_1.$$

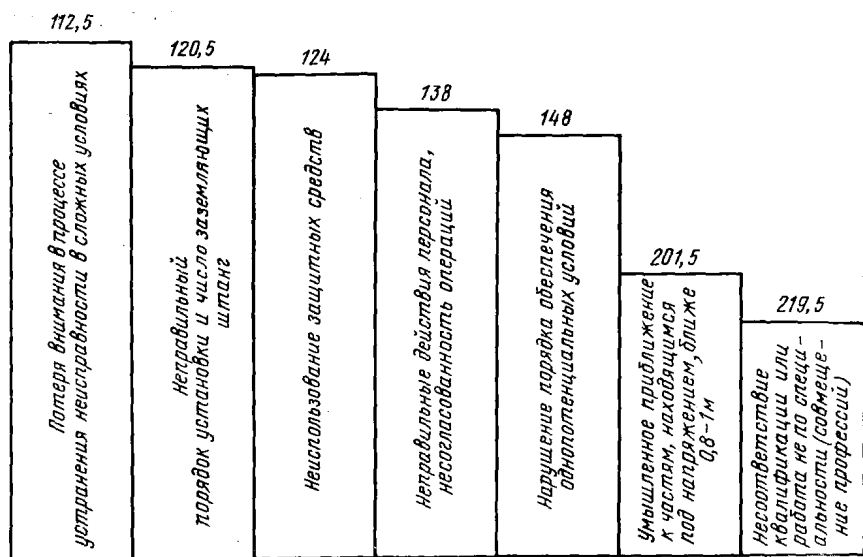


Рис. 1.4. Диаграмма рангов для факторов группы «нарушение правил и инструкций»

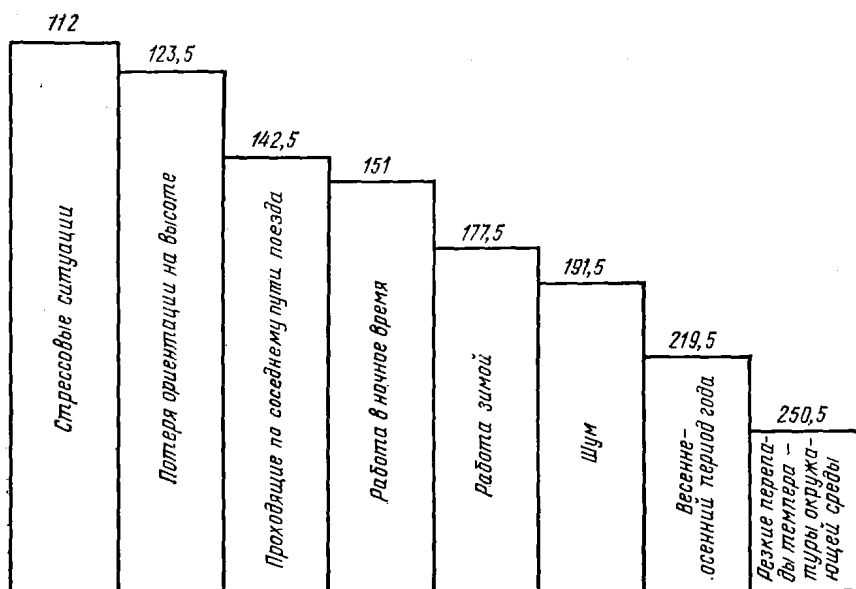


Рис. 1.5. Диаграмма рангов для факторов группы «трудные условия работы»

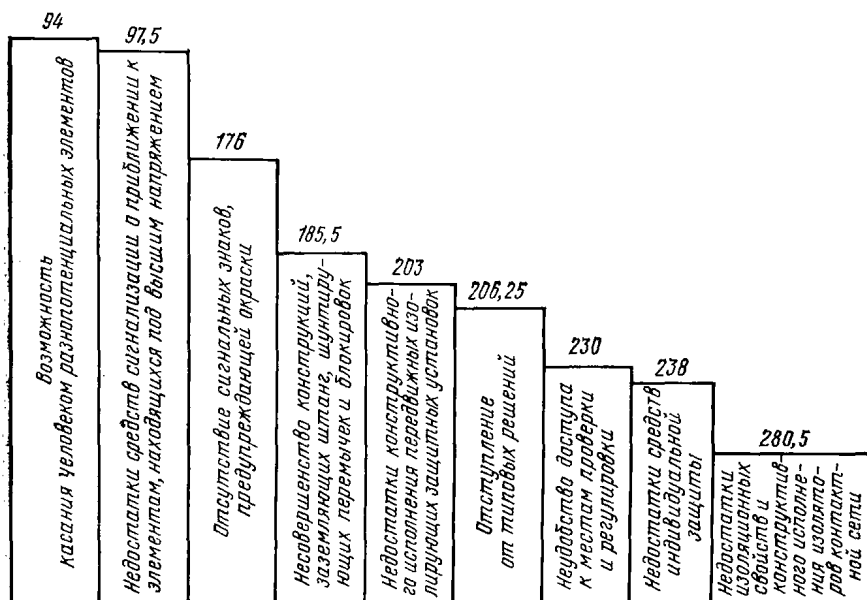


Рис. 1.6. Диаграмма рангов для факторов группы «недостатки технических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений»

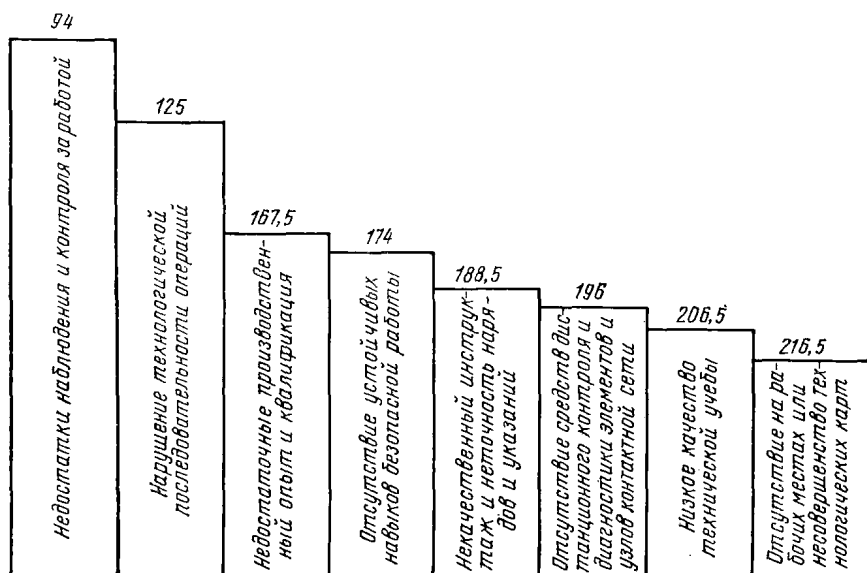


Рис. 1.7. Диаграмма рангов для факторов группы «недостатки технологии и организации работ»