

ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Д.С. Крупенин, 4 курс (научный руководитель – О.Р. Ильясов, д.б.н.)

Эксплуатация электрооборудования сопровождается появлением и воздействием на персонал различных опасных и вредных факторов, таких как электрический ток, электромагнитное излучение, вибрация, шум и др.

Снижение электротравматизма на железнодорожном транспорте до сих пор остается остроактуальной проблемой. На железной дороге по количеству смертельных случаев второе место занимают именно электротравмы, уступая только наезду подвижного состава. За последние пять лет от поражения электрическим током погибли 90 человек (рис. 1).

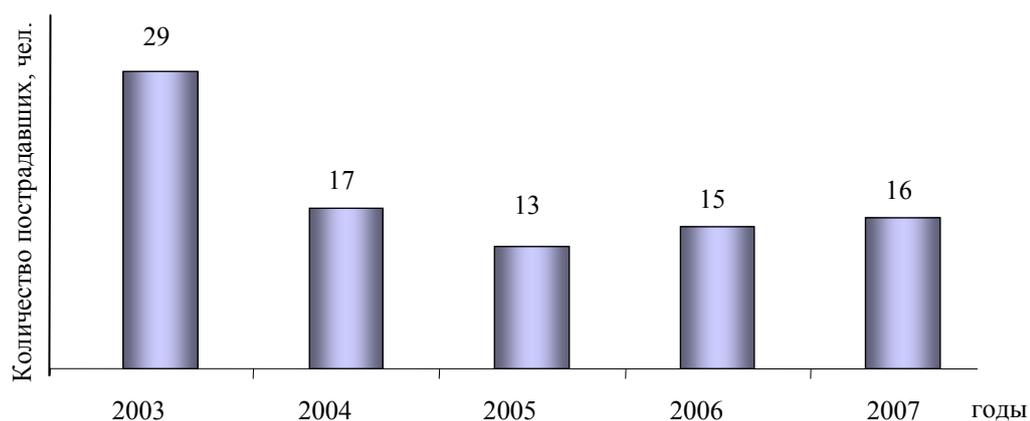


Рис. 1. Количество пострадавших от электрической тока со смертельным исходом по наиболее повторяющимся видам происшествий на сети железных дорог ОАО «РЖД» с 2003-го по 2007-й гг. [1]

В 2007 году зафиксированы 38 случаев поражения электрическим током, в том числе 16 смертельных (таблица 1).

Таблица 1

Количество пострадавших (по профессиям) в результате поражения электрическим током в хозяйствах железных дорог за 2007 г. [1]

Хозяйство	Профессия	Кол-во пострадавших, чел.	В т. ч. со смертельным исходом, кол-во
ЦТ	Машинист тепловоза	1	0
	Машинист электровоза	1	1
	Помощник машиниста электровоза	2	0
	Слесарь по ремонту подвижного состава	1	0
	Слесарь-электрик по ремонту электрооборудования	1	1
ЦП	Электромонтер	1	0
	Монтер пути	1	0
	Машинист путевых машин	1	1
	Слесарь-электрик по ремонту электрооборудования	1	0
	Мастер дорожный	1	1
ЦШ	Электромонтер сигнализации, централизации и блокировки	1	1
	Электромеханик	1	0
	Машинист электропоезда	1	1
	Электромеханик СЦБ, обслуживающий автоблокировку	1	1
ЦЭ	Электромонтер контактной сети	10	6
	Начальник подстанции тяговой	1	1
	Электромонтер	2	0
	Электромеханик	3	0
	Электромонтер тяговой подстанции	1	0
	Электромеханик тяговой подстанции	3	1
	Электромонтер по ремонту и ремонту электрооборудования	1	0
ЦМ	Мастер	1	1
	Приемосдатчик груза и багажа в поездах	1	0
Всего		38	16

ЦТ – Департамент локомотивного хозяйства; ЦП – Департамент путевого хозяйства; ЦШ – Департамент автоматики и телемеханики; ЦЭ – Департамент электрификации и электроснабжения; ЦМ – Департамент коммерческих работ в сфере грузовых перевозок.

Как видно из таблицы 1, под действие электрического тока по большей части попадают рабочие электроспециальностей (электромонтеры, электромеханики), но электротравмы часто получают и люди, обслуживающие или имеющие косвенное отношение к электрооборудованию.

Электрический ток зачастую оказывает вредное воздействие на организм человека. Оказавшись в электрической цепи под напряжением, молекулы живой ткани возбуждаются; это нарушает обмен веществ и изменяет электрические характеристики ткани. Высокая плотность и величина тока (до нескольких ампер) вызывают электролитическое и тепловое разрушение живых тканей в месте протекания тока – на организм влияет напряженность тока. Действие электрического тока не проходит бесследно и нередко понижает трудоспособность, на восстановление которой может уйти до нескольких месяцев, а иногда вызывает и хронические заболевания и даже полную нетрудоспособность. У электромонтеров чаще, чем у лиц других профессий, наблюдается раннее развитие атеросклероза, вегетативных и других расстройств. В медицинской практике зафиксированы случаи поражения электрическим током, когда пострадавшие погибали не от самой электротравмы, а от ее последствий спустя некоторое время.

В человеческом организме все физические процессы управляются с помощью центральной нервной системы, носителем информации в которой служат биотоки мозга, т.е. система управления электрическая, а проводники биотоков – это нервные ткани [2].

Напряжение, приложенное к телу человека, влияет на исход поражения, но лишь постольку, поскольку оно определяет значение тока, проходящего через человека.

Ощущаемый ток – электрической ток, вызывающий при прохождении через организм заметные раздражения. Такие раздражения вызывают переменный ток промышленной частоты силой 0,6–1,5 мА и постоянный ток силой 5–7 мА. Токи этих значений являются пороговыми ощутимыми токами, с них начинается область ощутимых токов.

Отпускающий ток – электрический ток величиной около 6 мА, при котором 100 % людей могут самостоятельно оторваться от токоведущих частей.

Неотпускающий ток – электрической ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в

которой зажат проводник. Пороговый неотпускающий ток – это переменный ток силой величиной около 22 мА, когда 100 % людей не могут самостоятельно оторваться от токоведущих частей и оказываются как бы прикованными к ним.

Переменный ток промышленной частоты, протекая по нервным тканям, поглощает управляющие биотоки мозга (до 30 мкА) и также, как неотпускающий ток (около 22 мА) приводит к возникновению эффекта «приковывания» жертвы к месту прикосновения.

Фибрилляционный ток – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца – хаотичные сокращения сердечной мышцы, приводящие к полной остановке сердца. Пороговым фибрилляционным током является переменный ток силой 100 мА и постоянный – силой 300 мА при длительности действия 1–2 с по пути «рука–рука» или «рука–ноги». Фибрилляционный ток может достичь 5 А. Ток больше 5 А фибрилляцию сердца не вызывает при таких токах происходит мгновенная остановка сердца [3].

Порог фибрилляции сердца наступает в том случае, когда протекающий по телу ток промышленной частоты поглощает биотоки, участвующие в управлении циклом работы сердца (кардиоцикла); сердце перестает получать координированные биотоки (биопотенциалы), управляющие работой сердца; наступают некоординированные сокращения сердечных мышц, что приводит к остановке сердца. Величина протекающего по телу человека тока, при которой возможно наступление фибрилляции сердца, зависит от: продолжительности воздействия тока, момента наступления прикосновения, рода и частоты переменного тока [4].

Любой вид деятельности человека сопряжен с определенными потенциальными опасностями. Для защиты от этих опасностей применяются соответствующие методы и средства защиты.

На данный момент существует много разработок и технических средств защиты человека от возможных аварийных режимов работы электроустано-

вок (устройства защитного отключения, заземления, зануления), имеется и немало средств индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, боты, перчатки). Здоровье и безопасные условия труда электротехнического персонала и работников, эксплуатирующих электрифицированные производственные установки, гарантируются строгим выполнением научно обоснованных правил и норм как при проектировании и монтаже, так и при их эксплуатации. Но в системе «человек-машина» немаловажную роль играет и человеческий фактор, обусловленный психофизиологическими особенностями человека и носящий непреднамеренный характер.

Тело человека является проводником электрического тока, правда, неоднородным по электрическому сопротивлению. Так, роговой слой эпидермиса можно рассматривать как диэлектрик: его удельное объемное сопротивление может достигать 10^5 – 10^6 Ом·м, сопротивление же спинномозговой жидкости составляет всего 0,5–0,6 Ом·м. Однако проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только ее физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присутствующими лишь в живой материи [5].

Внутреннее сопротивление считается активным. Его величина зависит от длины и поперечного размера участка тела, по которому проходит ток.

Наружное сопротивление тела состоит как бы из двух параллельно включенных сопротивлений: активного и емкостного (рис. 2).

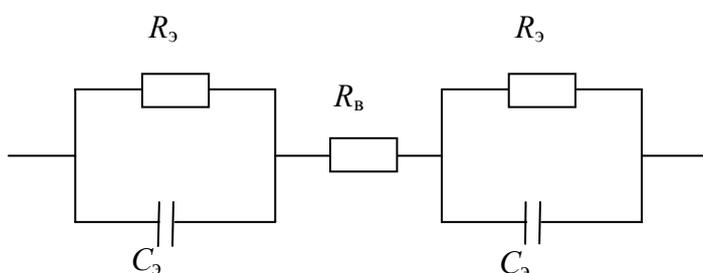


Рис. 2. Эквивалентная схема сопротивления тела человека

R_3 — активное сопротивление эпидермиса; $R_{в}$ — сопротивление внутренних тканей; C_3 — емкость образовавшегося конденсатора [5]

В практике обычно пренебрегают емкостным сопротивлением, которое незначительно при промышленной частоте, и поэтому сопротивление тела человека считают чисто активным.

Электропроводность вещества определяется его химическим составом, влажностью, температурой и воздействующими реакциями, а также интенсивностью происходящего в нем под влиянием электрического поля перемещения зарядов и зарядоносителей. Это перемещение вызывается причинами, которые условно можно подразделить на внешние (в виде напряжения любого источника электрохимических процессов, происходящих в веществе, среде и т. д.) и внутренние.

Перемещение электрических зарядов в веществе осуществляется: а) свободными или слабосвязанными электронами в случае, если атомы расположены достаточно плотно и их электронные орбиты-оболочки взаимно перекрываются (как это наблюдается, например, в металлах); б) слабосвязанными электронами, если атомы, условно говоря, расположены менее плотно и в определенном взаимно структурном порядке (как, например, в некоторых полимерах); в) свободно перемещающимися ионами; г) заряженными частицами — молл-ионами и аэроионами. Существует и особый вид движения электрических зарядов, присущий веществам, обладающим полупроводниковыми свойствами. Соответственно электропроводность подразделяют на электронную, ионную, молл-ионную, аэроионную и электронно-дырочную [6].

В начале XX века проведено большое количество исследований на животных, результаты которых показали, что ток в 100 мА является для них смертельным. Л. Феррис и другие экспериментировали на нескольких тысячах животных (мышь, кролики, кошки, собаки, овцы и др.) [7]. Авторы этого труда не сопоставляют напрямую результаты действия электрического тока

на сердце животного с данными о действии электрического тока при казни людей на электрическом стуле, но из текста заключения можно понять, что такое сопоставление они сделали и существенных противоречий не установили.

С. Еллинек [8], а за ним и другие исследователи, среди которых можно назвать А. Сант-Дьёрдьи [9], С. Кёппена [10, 11], П. Осипку [12], Х. Швана [13], Дж. Купфера [14, 15], а из отечественных — Г.Л. Френкеля [16] и К.А. Ажибаева [17], показали всю сложность переноса на человека результатов наблюдений за действием электрического тока на различных животных. Моделирование на животном характеризует один или несколько опасных для жизни человека параметров, но не позволяет оценить одновременно весь комплекс параметров электрической цепи, определяющих ее опасность для человека, и охарактеризовать особенности поражения человека при электротравмах [6].

Электропроводность биологических объектов и живых тканей обладает определенной спецификой и отличается большим своеобразием. Основная особенность живой ткани, как и организма в целом, состоит в непрерывно совершающемся обмене веществ, подчиненном определенным биофизическим и биохимическим закономерностям. Накоплено много фактов, свидетельствующих о сложнейшей природе электропроводности живой ткани — ионной, электронной и электронно-дырочной [6]. Сопротивление тела человека имеет нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Факторы, изменяющие величину сопротивления тела человека и усугубляющие исход электротравмы:

– повреждение рогового слоя (царапины, порезы), толщина рогового слоя (в зависимости от возраста и места приложения электродов), потовыделение, чистота кожи, площадь контакта электродов с кожей [5], наличие вла-

ги, наличие болезней кожи, местный нагрев кожи, контакт электродов с акупунктурными точками [6]);

– окружающая среда (сырость, токопроводящая пыль, едкие пары и газы, разрушающие действующие на изоляцию электроустановок [3], парциальное давление кислорода [5], температура [6]);

– параметры сети (род и частота тока, величина напряжения, путь протекания тока по телу человека, длительность протекания тока через тело человека [5]);

– физическое и психическое состояние организма (неожиданное раздражение (укол, неожиданный звук, легкий удар по руке), физическое здоровье и развитие тела человека [5], физическая нагрузка, алкогольное опьянение, психическая подготовленность к воздействию тока, усталость, эмоциональное состояние).

Повышенной восприимчивостью к электрическому току к электрическому току отличаются лица, страдающие болезнями кожи, сердечно-сосудистой системы, органов внутренней секреции, легких, нервными болезнями и др., что является медицинским противопоказанием для тех, кто собрался профессионально работать с действующими электроустановками [6].

Таким образом, электробезопасность на железнодорожном транспорте – одна из важнейших задач, решение которой необходимо для обеспечения безопасных и безвредных условий труда для работников. Изучением действия электрического тока на организм человека занимались ученые страны и зарубежья. Стоит заметить, что действие отдельных факторов электрического и неэлектрического характера изучены достаточно подробно, однако в работах указанных в данной статье авторов не было проведено исследований комплексного действия ряда производственных факторов. Так, например, нельзя отрицать, что на человека в момент электротравмы могут влиять не только величина напряжения и длительность протекания электрического тока, но и состояние кожи, фактор неожиданности, эмоциональное состояние и т.д.

Литература

1. *Отчет Управления по охране труда промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД» за 2008 г.*
2. *Безопасность жизнедеятельности; Ч.1. – Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта / К.Б. Кузнецов, В.К. Васин, В.И. Купаев, Е.Д. Чернов; Под ред. К.Б. Кузнецова. – М.: Маршрут, 2005. – 575 с. ISBN 5–89035–272–5.*
3. *Занько Н.Г., Малаян К.Р., Русак О.Н. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. 12-е изд., перераб. и доп. / Под ред. О.Н. Русака. – СПб: Изд-во «Лань», 2007. – 672 с. ISBN 978–5–8114–0284–7.*
4. *Кузнецов К.Б., Мишарин А.С. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта: Учеб. пособ. для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. К.Б. Кузнецова. – М.: Маршрут, 2005. – 456 с. ISBN 5–89035–199–0.*
5. *Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.– 480 с. ISBN 5–283–04547–1.*
6. *Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособ. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.*
7. *Князевский Б.А., Марусова Т.П., Чекалин Н.А., Шипунов Н.В. Охрана труда в электроустановках: Учеб. для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.*
8. *Еллинек С. Несчастные случаи от электричества. – М.: Вопросы труда, 1927.*
9. *Сант-Дьёрдьи А. Биоэлектроника Пер. с англ. – М.: Мир, 1971.*
10. *Köppen S., Eichler R., Osypka P. Der elektrische Unfall – Anatomische, physiologische, klinische neurologische, psychologische Untersuchungen und*

technische Analysen nach Wechsel und Gleichspannungsunfällen // Elektromedizin. – 1961.

11. Köppen S., Osypka P. *Die Beurteilung von Herz und Nervenerkrankungen und Schädigungen der inneren Organe nach elektrischen Unfällen // Berufsgenossenschaft. Berlin. – 1962.*

12. Osypka P. *Messtechnische Untersuchungen für Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen // Elektromed., med. Elektronik. Berlin. – 1963.*

13. Schwan H.W., Piersol G.M. *The absorption of electromagnetic energy in body tissues. Pt. 1 // Am. Journ. Of Physiol. Med. – 1957. – Vol. 33. – № 6.*

14. Kupfer J. *Verlauf der Schwelle für die Auslösung von Herzkammerflimmern durch 50-Hz-Wechselströme // Elektrisch. Berlin. – 1979. – Bd. 33. – № 11.*

15. Kupfer J. *Erkenntnisse über zulässige Körperströme beim Menschen // Berlin: Fernmeldetechnik. – 1980. – Bd. 20. – № 5.*

16. Френкель Г.Л. *Современные вопросы электропатологии // Тр. конф. по электротравме. – Фрунзе: Изд-во АН Кирг. ССР, 1957.*

17. Ажибаев К.А. *Физиологические и патофизиологические механизмы поражения электрическим током. – Фрунзе: Илим, 1977.*