

ОХРАНА ТРУДА

УДК 331.45

Т.В. Еремина, А.Ф. Калинин

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАВМООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В статье дана методология совершенствования системы электробезопасности ручных электрических машин. Приведен алгоритм построения диаграмм типа «дерево». Определены виды травмоопасных ситуаций дерева событий.

Ключевые слова: ручная электрическая машина, система электробезопасности, электротравма, дерево событий, дерево исходов, травмоопасная ситуация.

T.V. Yeremina, A.F. Kalinin

THE MATHEMATICAL MODELING METHOD OF INJURY-CAUSING SITUATIONS IN THE MANUAL ELECTRIC MACHINE OPERATION

The methodology for electrical safety system perfection of the manual electric machines is given in the article. The algorithm of diagram sort "tree" development is set forth. The traumatic situation types of the event tree are defined.

Key words: manual electric machine, electric safety system, electric trauma, event tree, tree of outcomes, injury-causing situation.

Введение. На современном этапе развития применения ручных электрических машин (РЭМ) на сельскохозяйственных объектах, фермерских хозяйствах и в быту с совершенствованием применяемых методов организации работ на основе оптимизации системы электробезопасности целесообразно использовать комплексный подход к исследованию, т.е. аналитический и математическое моделирование.

Общая методология исследования и совершенствования системы электробезопасности РЭМ структурно-логическим и математическим методами базируется на рассмотрении следующих аспектов [1]:

- системно-элементном, качественно и количественно характеризующим состав системы;
- системно-структурном, концентрирующим внимание на математических способах связи и организации взаимодействия её элементов;
- системно-функциональном, учитывающим задачи основных компонентов системы.

Система электробезопасности рассматривается как сложное понятие, являющееся средством представления объектов и используемое в целях их качественного исследования и совершенствования.

Применяя математические методы анализа системы электробезопасности, нужно определить роль какого-либо вида моделирования и его значение в процессе создания системы и выделить то общее, что присуще всем моделям. Таким образом, модель – это естественный или искусственный объект, находящийся в соответствии с изучаемым объектом. Информация о состоянии системы электробезопасности при эксплуатации РЭМ должна быть упорядочена.

Цель исследований. Математический анализ возникновения электротравматизма при эксплуатации РЭМ.

Задачи исследований. Построение алгоритма математической модели травмоопасной ситуации и отбор наиболее опасных инцидентов.

Для изучения возникающих в системе электробезопасности травмоопасных ситуаций следует использовать методы моделирования, в общем виде включающие следующие этапы:

- учет наиболее существенных факторов, определяющих возникновение травмоопасной ситуации и её последствий;

- составление смысловых (описательных) моделей;

- формализация травмоопасной ситуации и оценка количественных характеристик.

Наиболее полно рассматриваемой модели удовлетворяет формализованное представление системы в виде графических диаграмм причинно-следственных связей [2]. На наш взгляд, предпочтительным являются диаграммы типа «дерева происшествий», которые обладают высокой информативностью представления и описания изучаемых явлении, хорошей наглядностью и декомпозируемостью, возможностью применения формализованных процедур системного анализа этих моделей и системного синтеза мероприятий, направленных на реализацию заданных целей системы.

Семантическая модель типа «дерева происшествий» включает одно головное событие, которое соединяется с помощью конкретных логических условий с исходными и промежуточными предпосылками, обусловившими в совокупности его появление. В нашем случае головное событие дерева представляет аварию электроустановки или несчастный случай, а его «ветви» – набор соответствующих предпосылок, образующих их причинные цепи. «Листьями» дерева происшествия служат исходные события-предпосылки (отказ электроустановки, ошибки оператора), дальнейшая детализация которых нецелесообразна.

Объекты и методы исследований. С учетом изложенного сформулируем основные требования к построению диаграмм типа дерева.

1. Модель должна состоять только из одного головного события, поэтому представим дерево происшествий в виде совокупности двух деревьев: дерево события (возникновения травмоопасной ситуации) и дерева исходов (последствия травмоопасной ситуации).

2. Каждое из двух моделей содержит свое головное событие и некоторое множество предшествующих ему предпосылок-ошибок людей, поломка оборудования, негативные внешние воздействия. Причем в состав этих деревьев следует включать все логические связи между имеющимися предпосылками, соблюдение которых необходимо и достаточно для возникновения травмоопасной ситуации.

3. Построение дерева событий и дерева исходов следует начинать не от исходных ошибок, отказов техники и опасных внешних воздействий к головному событию, а наоборот. При этом само головное событие, соответствующие ему предпосылки верхнего и последующих уровней, а также образованные ими причинные цепи, следует выявлять на основе знания общих закономерностей возникновения электротравмы.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 приведен алгоритм построения диаграмм дерева событий и дерева исходов. Первый этап включает описание систем электробезопасности. Здесь должна быть собрана и изучена следующая информация: структура объекта; пространственное размещение его элементов; основные виды работ, осуществляемые на электроустановке; отказы оборудования, имевшие место; эксплуатационная надежность электрооборудования; возможные ошибочные действия оператора и т.д.

Второй этап содержит таксономию потенциальной опасности и ее классификацию. Здесь важно выделить наиболее опасные источники.

Третий этап предназначен для выявления возможных инцидентов (электротравм). Анализ состоит в построении прецедентных сочетаний несчастных случаев: иницирующие события – промежуточные события – инцидент. При этом следует учитывать различные возможные иницирующие события, такие, как аварии электроустановки, отсутствие или отказ средств электрозащиты, ошибки оператора и т.д. На этом этапе будем использовать метод дерева событий в предположении, что верхнее нежелательное событие представляет собой электротравму.

Четвертый этап – анализ постинцидентных сочетаний исходов, которые могут иметь место после инцидента – получения электротравмы. На этом этапе используем метод дерева исходов при условии, что здесь рассматривается в виде инцидента один из возможных его исходов (летальный, инвалидность, временная нетрудоспособность).

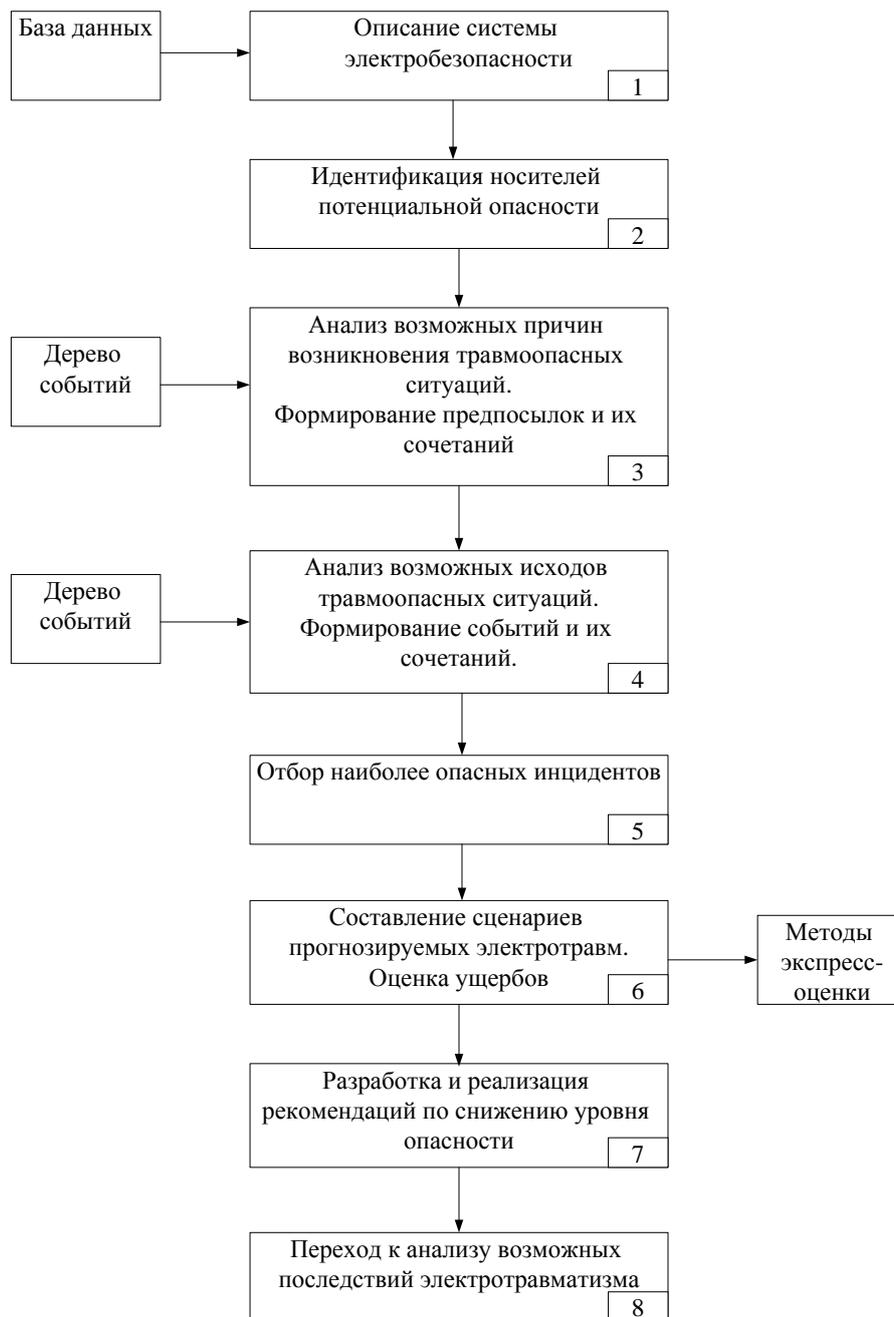


Рис. 1. Блок-схема построения диаграмм типа «дерево»

Пятый этап включает отбор наиболее опасных инцидентов и формирование окончательного итогового его списка. При составлении такого списка используются методы, позволяющие ранжировать инциденты и отбирать среди них наиболее опасные.

Шестой этап предполагает составление сценариев несчастных случаев на основе итогового списка инцидентов и оценку возможных ущербов.

Заключительный блок содержит разработку рекомендаций по снижению уровня опасности электро-травмирования при эксплуатации, в том числе РЭМ.

Следующим этапом моделирования травмоопасных ситуаций в электроустановках является априорная оценка их числовых параметров.

Как правило, она связана с определением вероятности появления конкретных несчастных случаев, аварий, в том числе и математического ожидания их количества на заданном интервале времени. Здесь же рассчитываются размеры ущерба и затрат, связанных с возникновением и предупреждением опасных ситуаций в электроустановках [3]. Рассмотрим применение методики оценки риска электротравмирования РЭМ (табл.)

Разделим вероятности, находящиеся в левой колонке на несовместимые группы, учитывая, что общей причиной первых трех опасностей является наличие открытых токоведущих частей. Причина четвертой опасности – повреждение изоляции фазного провода относительно корпуса РЭМ. Два головных события приведены в правой колонке таблицы.

Определение травмоопасных ситуаций дерева событий

Потенциальная опасность	Вероятность, %	Головное событие	Вероятность, %
Двухфазное прикосновение	2,0	-	-
Двухфазное прикосновение между фазным и нулевым проводом	8,2	Прикосновение к токоведущим частям	22,4
Однофазное прикосновение между фазным проводом и землей	12,2	Прикосновение к корпусу РЭМ оказавшему под напряжением	77,6
Прикосновение между корпусом, на котором произошло замыкание фазного провода, и землей	77,6	-	-

Руководствуясь изложенным выше подходом (рис. 2), рассмотрим головное событие «Электротравма при прикосновении к корпусу РЭМ».

Выполним следующие процедуры:

- а) определим все предпосылки и элементарные события, которые могут вызвать головное событие;
- б) рассмотрим отношения между событиями с помощью логических операций И или ИЛИ.

Головное событие А (рис. 2) произойдет, если будут иметь место все четыре события Б, В, Г и Д, представленные входами логической операции И.

Наличие напряжения на корпусе РЭМ (событие Б) возможно, если имевшее место замыкание токоведущих частей на ее корпус (событие Е) не было устранено перед применением РЭМ (событие Ж).

Касание человеком корпуса РЭМ (событие В) возможно при любом из событий И, К и Л, которые представлены входами логической операции ИЛИ.

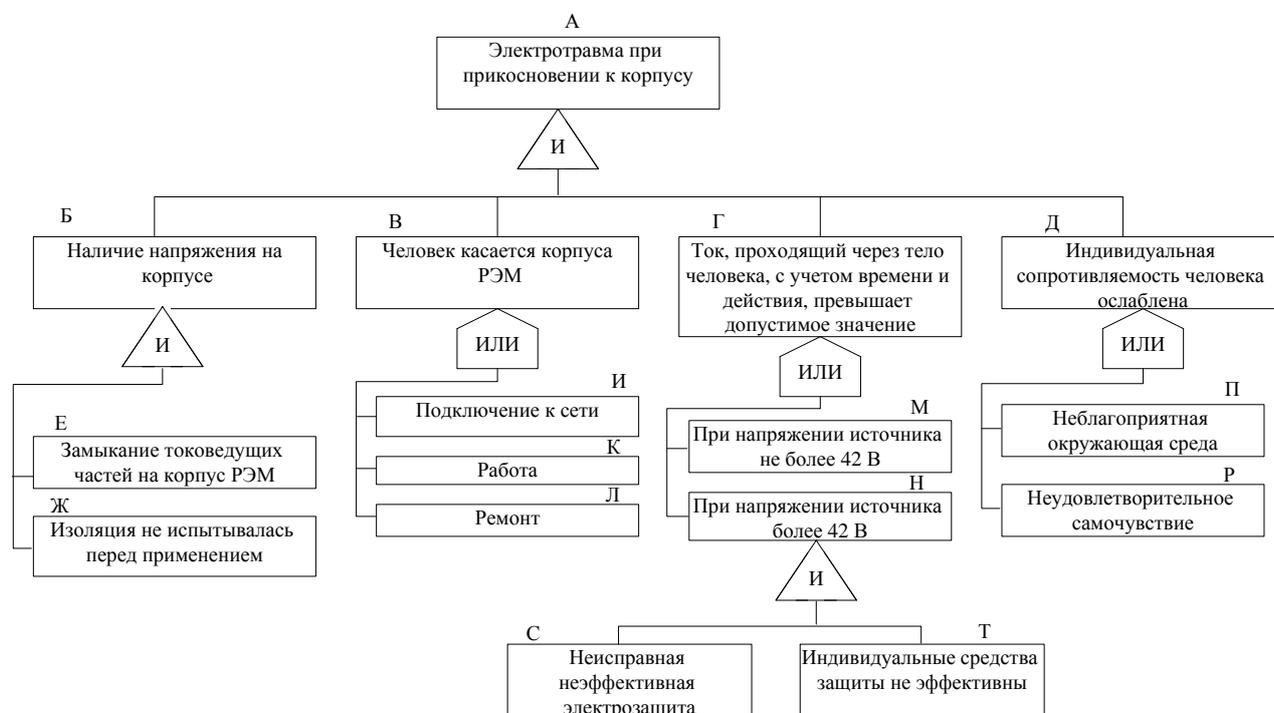


Рис. 2. Дерево событий и исходов

Ток, проходящий через тело человека, может превысить допустимое значение (событие Г) как при источнике напряжением не более 42 В (событие М), так и при источнике напряжением более 42В (событие Н) при неэффективных индивидуальных защитных средствах (событие Т) и недейственных средств электрозащиты (событие С)¹.

Индивидуальная сопротивляемость человека к действию электрического тока будет ослаблена (событие Д) при неблагоприятной окружающей среде (событие П) или неудовлетворительным его самочувствием (событие Р).

Выводы. Существующие методы анализа электротравматизма не направлены на выявление факторов, влияющих на процессы формирования несчастных случаев, что не обеспечивает повышение эффективности мероприятий по предупреждению травматизма.

В этой связи электротравма рассматривается как некоторое сложное событие, формирование которого определяется введением в систему электробезопасности РЭМ блока информационного обеспечения для решения следующих задач:

1. Комплексное изучение причинно-следственных связей признаков, влияющих на уровень электротравматизма.
2. Статистическая оценка показателей эффективности системы электробезопасности.
3. Прогнозирование показателей частоты и тяжести электротравматизма.

Литература

1. *Якобс А.И.* Развитие системы обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве // Электробезопасность в сельском хозяйственном производстве: сб науч. тр. – М.: ВИЭСХ, 1984. – Т. 62. – С. 3–9.
2. *Гермейер Ю.Б.* Введение в историю исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.
3. *Рагозин А.* Общие закономерности формирования и количественная оценка природных рисков на территории России // Вопросы анализа риска. – 1999. – № 2. – 28 с.



¹ Под недейственностью средств электрозащиты будем понимать их отсутствие, отказ, а также несоответствие их параметров установленным нормам.