

ВОЗМОЖНОСТЬ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ РЕЖИМОВ НАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗОЛИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ПЛОЩАДКАХ РЕМОНТНЫХ ДРЕЗИН

Введение

Задача снижения производственного травматизма при эксплуатации железных дорог является на сегодняшний день одной из самых приоритетных. Особенно остро такая проблема стоит в хозяйствах электрификации и электроснабжения. В силу специфики и повышенной опасности данного производства существует необходимость в постоянном контроле соблюдения всех требований безопасности. Отдельной областью в этом вопросе является снижение электротравматизма при работах с изолирующих рабочих площадок дизельных автомотрис (дрезин), наиболее часто применяемых для производства работ вблизи источников высокого напряжения и электромагнитных полей. Предусматривается, что электробезопасность при работах с изолирующих площадок дрезин в настоящее время должна обеспечиваться соблюдением организационных и технических мероприятий. Однако в процессе производства работ возникают ситуации, когда на изолирующих рабочих площадках дрезин появляются опасные режимы электрических напряжений, которые в отдельных случаях при нарушении порядка производства работ могут привести к электротравмам. Сложность обнаружения таких опасных ситуаций состоит в том, что лица, ответственные за безопасность производства работ (например, наблюдающий и производитель работ), часто не в состоянии уследить за быстрым изменением ситуации, мгновенно оценить ее опасность и предпринять меры к ее недопущению. Наблюдение за работами производится только визуально, регистрация опасных режимов напряжений отсутствует. Электробезопасность можно повысить с помощью организации автоматизированного контроля опасных режимов электрических напряжений на изолирующих рабочих площадках дрезин с использованием средств раннего оповещения и защиты от несанкционированных или неверных действий персонала. Автоматизированные средства должны осуществлять постоянный контроль режимов, оповещение о появлении опасного режима, а также создавать контроль

отдельных пространственных зон, нарушение которых может привести к электротравме.

Цель работы

Ставится задача оценить возможность регистрации и различения опасных режимов напряжений на изолирующих рабочих площадках дрезин на основе бесконтактных методов путем регистрации и обработки наведенных напряжений в специально устанавливаемых на дрезине антеннах.

Основные причины возникновения опасных режимов

Во-первых, до производства работ по прибытию на место, руководитель обязан достоверно знать ситуацию о наличии или отсутствии рабочего или наведенного напряжения на ремонтируемой секции контактной сети, а также на смежных ее секциях до и после производства отключений и наложения заземлений на отключенные секции.

Во-вторых, уже при производстве работ требуется непрерывный контроль за потенциально опасными для персонала режимами напряжений на изолирующей рабочей площадке. Такие режимы возникают в случаях, когда рабочая площадка оказывается под рабочим или наведенным напряжением опасного уровня, а также когда на рабочую площадку ошибочно подан потенциал земли. Такие режимы возникают в условиях:

- при завешенных шунтирующих штангах в случае проведения работ без снятия напряжения;
- при снятии заземляющих штанг при наличии шунтирующих штанг и попадания рабочей площадки под наведенное напряжение отключенного участка контактной сети;
- в случае прикосновений к контактной подвеске, находящейся под рабочим или наведенным напряжением, персонала, располагаемого на рабочей площадке при отсутствии шунтирующих штанг;
- в случае прикосновения элементов рабочей площадки в процессе ее подъема или поворота к токоведущим частям, находящимся под рабочим или наведенным напряжением;

– при необходимости перемещения дрезин при снятии одной заземляющей штанги и при плохом состоянии заземления второй заземляющей штанги, т.е. при появлении в контактной сети наведенного напряжения, как при установленных шунтирующих штангах, так и без них в случае прикосновения персонала к отключенной контактной подвеске;

– при перекрытии изоляции рабочей площадки не снятыми шнурами питания низковольтного инструмента, временное завешивание заземляющей штанги, расположенной на дрезине, на ограждение рабочей или переходной площадки на время перемещения дрезины.

В вышеперечисленных условиях могут возникнуть следующие опасные ситуации из-за ошибочных действий персонала:

– спуск или подъем на рабочую площадку через переходную площадку, передача оснастки или инструментов с рабочей площадки на заземленные площади или на переходную площадку дрезины;

– нарушение габаритов рабочей площадки оснасткой, деталями, приспособлениями, инструментом, способными перекрыть изоляцию рабочей площадки или коснуться заземленных частей, находящихся вблизи места производства работ;

– прикосновение персонала к контактной подвеске без установленных шунтирующих штанг с одновременным перекрытием изоляции рабочей площадки заземляющей штангой или шнурами питания электроинструмента, подключенными к источнику питания, расположенному на стороне низкого напряжения;

– прикосновение персонала к элементам рабочей площадки при установленных шунтирующих штангах с одновременным прикосновением к низковольтным проводам питания электроинструмента, перекрывающим изоляцию рабочей площадки и подключенными к источнику питания, расположенному на стороне низкого напряжения.

Анализ показывает, что упомянутые опасные режимы в сочетании с ошибочными действиями персонала меняют картину взаимных емкостных связей между всеми взаимодействующими изолированными элементами дрезины. Это должно дать возможность их регистрации и различения.

Основы регистрации и оценка емкостных связей

Предполагается, что бесконтактную регистрацию описанных выше режимов можно

осуществить, микроконтроллерной системой, получающей информацию от системы из двух изолированных от земли антенн, устанавливаемых, как показано на рис.1. Антенна А1 предназначена для оценки наличия рабочего или наведенного напряжения в контактной сети. Антенна А2 предназначена для оценки уровня напряжения на рабочей площадке дрезины в зависимости от ее положения, шунтирования, заземления и от режимов напряжений в контактной сети.

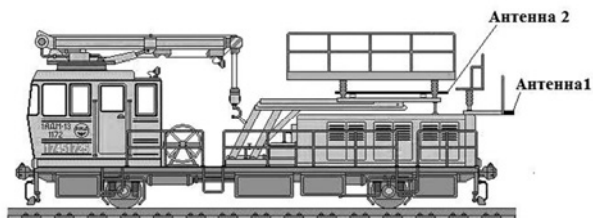


Рис. 1. Расположение антенн на дрезине

На изолированных от земли металлических частях дрезины за счет емкостных связей между ними и контактными подвесками будет наводиться переменное напряжение, в том числе и в проводах антенн. На рис.2 приведена схема основных емкостных связей между рабочей площадкой дрезины, контактными подвесками и антеннами при проведении работ на трехпутном участке, который выбран в качестве примера как наиболее сложный по конфигурации. Для проведения дальнейшего анализа и моделирования различных электрических режимов рабочей площадки требуется определить величины электрических емкостей. Конструкция дрезины и ее составных частей не позволяет провести точный расчет значений указанных емкостей. Однако можно произвести их оценку следующим образом.

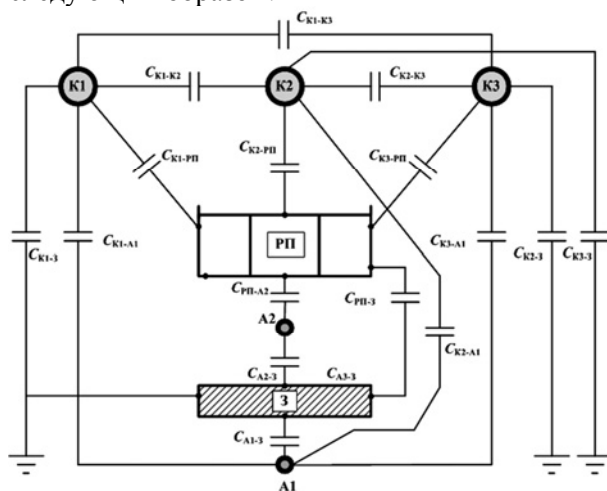


Рис. 2. Схема основных емкостных связей между контактными подвесками К, рабочей площадкой РП, антеннами А и заземленными частями З

Следует учесть, что емкости C_{A1-3} , C_{A2-3} можно выбрать достаточно произвольно и установить необходимые их величины, исходя из получения нужных уровней наводимых в антеннах напряжений для дальнейшей их обработки электроникой. Емкость $C_{РП-A2}$ зависит от размеров антенны А2 и ее расположения и может быть также установлена в принципе любой удобной величины (например, в пределах от 10 до 30 пФ). Величины емкостей C_{K1-A1} , C_{K2-A1} , C_{K3-A1} могут быть ориентировочно установлены по следующим правилам:

– емкость антенны А1 относительно ближайшей подвески (относительно ремонтируемого пути) может быть выбрана в несколько пФ (зависит от размеров и месторасположения антенны А1 на дрезине);

– если антенна А1 расположена под подвеской К1, то можно показать, что при условии $C_{A1-3} \gg C_{K1-A1} > C_{K2-A1} > C_{K3-A1}$, величины емкостей антенны по отношению к другим более удаленным контактным подвескам могут быть рассчитаны по выражению:

$$C_{K2(3)-A1} = C_{\text{баз}} \cdot \frac{\ln(D_{2(3)} / d_{2(3)})}{\ln(D_1 / d_1)}, \quad (1)$$

где $C_{\text{баз}} = C_{K1-A1}$; D_1 , $D_{2(3)}$ – расстояния от зеркального отображения эквивалента соответственно первой, второй (или третьей) контактных подвесок до антенны А1; d_1 , $d_{2(3)}$ – расстояния от реального эквивалента соответственно первой, второй (третьей) контактных подвесок до антенны А1; указанные величины могут быть найдены по методу зеркальных отображений из геометрических соотношений с учетом высоты подвеса эквивалентов контактных подвесок, точки расположения и высоты подвеса антенны А1 над уровнем земли и ширины сближения контактных подвесок с антенной; $C_{\text{баз}}$ – взаимная емкость между антенной А1 и ближайшей контактной подвеской.

– если антенна А1 находится под подвеской К2, в качестве $C_{\text{баз}}$ следует принять емкость C_{K2-A1} , при этом $C_{K1-A1} = C_{K1-A3}$, которые рассчитываются с использованием (1).

Для расчета емкости контактных подвесок по отношению к рабочей площадке $C_{K1-РП}$, $C_{K2-РП}$, $C_{K3-РП}$ можно использовать описанный выше путь. Если в качестве базовой принять взаимную емкость между РП и подвеской, под которой расположена РП, то базовая емкость может быть ориентировочно рассчитана с использованием соотношения [1], как емкость между эквивалентом контактного провода и пластиной (плоскость РП):

$$C_{\text{баз}} = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(2h^2 / (rc))},$$

где $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; l – длина РП, м; h – высота подвеса эквивалента контактной сети над уровнем пола РП, м; r – эквивалентный радиус контактной подвески, м; c – полуширина РП, м.

Емкость РП на заземленную опорную платформу $C_{РП-3}$ оценивалась как емкость плоского конденсатора, между полом РП и верхней поверхностью дизельного отсека.

Расчеты проводились для следующих геометрических размеров: $r = 0,093$ м; $l = 4,1$ м; $c = 0,75$ м; $h = 2,25$ м; высота подвеса эквивалента контактной сети $b_k = 6,93$ м; ширина сближения между подвесками $a = 4,1$ м; высота подвеса антенны А1 над уровнем головки рельсов $p = 3$ м (уровень верхней поверхности дизельного отсека дрезины); длина рабочей площадки $g = 4,1$ м.

Оценочные величины взаимных емкостей C_{K1-K2} , C_{K2-K3} , C_{K1-K3} между эквивалентами контактных подвесок для рассматриваемого случая, а также емкости контактных подвесок на землю C_{K1-3} , C_{K2-3} , C_{K3-3} можно достаточно просто выбрать, исходя из уровней наводимых в них напряжений при их отключении. Известно, что наведенное напряжение электрических влияний неотключенной подвески на отключенную подвеску составит около 6 кВ при сближении 4,1 м. При влиянии на отключенную подвеску двух и более неотключенных подвесок при минимальном сближении между ними электрическое влияние возрастет до 9 кВ. Емкость контактной подвески на землю составляет около 11 нФ/км. В моделировании можно принять протяженность отключаемого участка контактной сети равную 2 км. При этом емкости подвесок на землю следует принять $C_{K1-3} = C_{K2-3} = C_{K3-3} = 22$ нФ. Из этих данных легко получить взаимные емкости между контактными подвесками. Результаты оценочных расчетов емкостных связей представлены в таблице. Здесь сведены значения емкостных связей для двух расчетных ситуаций: для проведения работ на крайней подвеске К1 и для работ на подвеске К2.

Значения емкостей рассчитаны ориентировочно. Однако конкретные значения емкостей оказывают влияние лишь на абсолютные уровни напряжений в узлах схемы, но не влияют на отношение напряжений, наводимых в отдельных антеннах, при условии их пропорционального изменения. Различие в уровнях и комби-

нациях напряжений в двух антеннах может определять то или иное состояние контактных подвесок и РП, определяя текущую конфигурацию этого состояния.

Таблица 1

Взаимные емкости, пФ

Емкость	Работы под подвеской К1	Работы под подвеской К2
C_{K1-K2}	7000	7000
C_{K2-K3}	7000	7000
C_{K1-K3}	3500	3500
C_{K1-3}	22000	22000
C_{K2-3}	22000	22000
C_{K3-3}	22000	22000
$C_{K1-РП}$	38	66
$C_{K2-РП}$	66	38
$C_{K3-РП}$	38	24
C_{K1-A1}	5	7,5
C_{K2-A1}	7,5	5
C_{K3-A1}	5	3
$C_{РП-A2}$	15	15
C_{A2-3}	5000	5000
C_{A1-3}	10000	10000
$C_{РП-3}$	667	667

Моделирование уровней напряжений, наводимых в антеннах в опасных режимах, проводилось в программе «Multisim 10» (Electronics Workbench). Моделирование режимов заключалось во включении или отключении контактных подвесок, их заземлении или снятии заземления, в шунтировании РП и включенных и отключенных подвесок под рабочим или наведенным напряжением, а также при шунтировании РП на землю через сопротивление 1 Мом (имитация перекрытия изоляторов РП низковольтными шнурами). Касание подвески с рабочим или наведенным напряжением человеком моделировалось шунтированием РП и подвески через сопротивление 1 кОм. Изменялись уровни напряжений на антеннах А1 и А2. В настоящей статье результаты моделирования приведены для случая, когда изолированная вышка дрезины не поднята и находится в исходном положении. Очевидно, что при подъеме или перемещении вышки, расстояние РП и А1 относительно контактных подвесок будут изменяться. Следовательно, величины соответствующих емкостей на антенну А1 и на

РП также изменятся. Однако, как показали результаты моделирования, подъем РП ведет к увеличению емкостных связей между контактными подвесками и РП, а также между контактными подвесками и антеннами, что сопровождается ростом уровней напряжений в антеннах. Однако это слабо меняет их соотношение этих уровней.

Результаты моделирования

Некоторые результаты моделирования показаны в виде гистограмм на рис.3...7. На гистограммах значения по вертикальной шкале приведены в вольтах. По горизонтальной шкале отложены номера антенн. На гистограммах приняты следующие обозначения: В – подвеска включена под рабочее напряжение; ВШ – подвеска включена под рабочее напряжение и шунтирована на РП; О – подвеска отключена и не заземлена; ОШ – подвеска отключена и наложен шунт с РП; ОЗ – подвеска отключена и заземлена; ОЗШ – подвеска отключена, заземлена и шунтирована с РП; ПЗ – рабочая площадка заземлена.

Гистограммы приведены в порядке правил производства работ под напряжением и со снятием напряжения и заземлением. Режим ОШ не входит в правила производства работ, т.к. нельзя касаться или шунтировать отключенные провода без их предварительного заземления, но встречается в нарушение правил и приведен для большей наглядности. Следует иметь в виду, что режимы ВШ и ОШ означают подачу потенциала контактной сети на РП равноценными способами путем завешивания шунтирующих штанг или касанием проводов контактной сети персоналом, расположенным на РП. При моделировании отключения секции из двух путей К1 и К2 принималось, что контактные подвески отключаемой секции соединены электрическими соединителями и питаются от одного фидера.

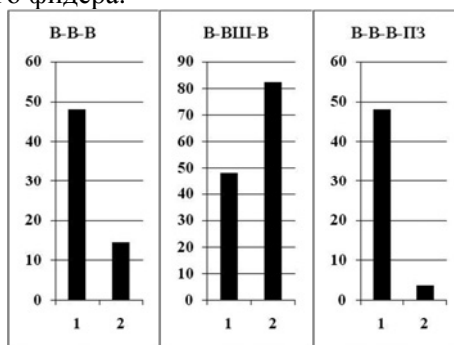


Рис. 3. Напряжения на антеннах А1 и А2 при работах без снятия напряжения на среднем пути К2

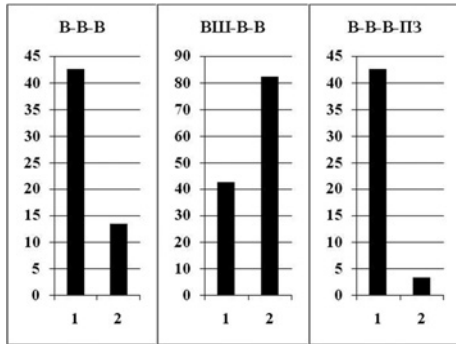


Рис. 4. Напряжения на антеннах А1 и А2 при работах на крайнем пути К1 без снятия напряжения

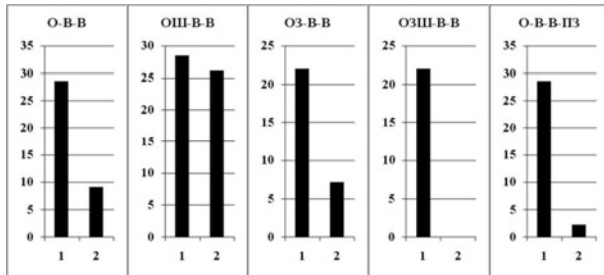


Рис. 5. Напряжения на антеннах А1 и А2 при работах на крайнем пути К1 со снятием напряжения с крайнего пути К1

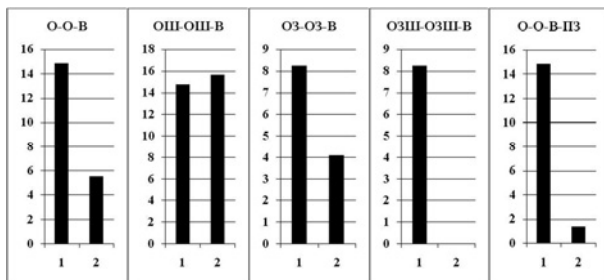


Рис. 6. Напряжения на антеннах А1 и А2 при работах на крайнем пути К1 со снятием напряжения с секции двух путей К1-К2

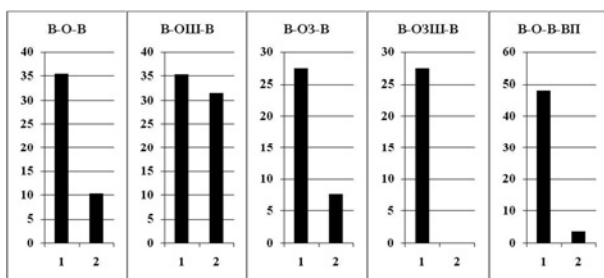


Рис. 7. Напряжения на антеннах А1 и А2 при работах со снятием напряжения на подвеске К2 при наличии рабочего напряжения в подвесках К1 и К3

Выводы

Анализ результатов моделирования показывает, что как абсолютные уровни напряжений в антеннах, их разница, так и их отношения не повторяются, что позволяет сделать вывод о возможности идентифицировать режимы работы контактной сети и изолирующей рабочей площадки дрезины путем бесконтактной регистрации напряжений в антеннах.

Автоматизация распознавания указанных режимов позволит:

- определить режимы напряжения в контактных подвесках до и после производства отключений, контролировать отключения подвесок, наложения и снятия заземлений, наличие перекрытия изоляции рабочей площадки, процессы подъема и спуска с площадки, прикосновение персонала к проводам контактной сети без завешенных шунтирующих штанг, завешивание или снятие шунтирующих штанг и т.п.;

- при появлении потенциально опасных режимов появляется возможность организовать предупредительные меры в виде сигнализации с целью предупреждения персонала о недопустимости несанкционированных или ошибочных действий;

- организовать включение пространственно контролируемых зон запрета на вход персонала в области лестничного подъема к переходной площадке, область перехода к рабочей площадке, в области периметра рабочей площадки.

Разработка и внедрение такой автоматизированной микропроцессорной системы позволит повысить электробезопасность производства работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иосель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 288 с.

Ключевые слова: опасный режим, электротравматизм, бесконтактная регистрация, антенна, рабочая площадка, дрезина.

Ключові слова: небезпечний режим, електротравматизм, безконтактна реєстрація, антенна, робоча площадка, дрезина.

Keywords: dangerous mode, electrical injuries, non-contact registration, antenna, work platform, railcar.