

УДК614.841.2; 621.315.1

Определение количества капель расплавленного металла при однофазном коротком замыкании

Numerical determination of the quantity of melting drops at a single-phase short circuit

Ю.С. Козлова

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Yu.S. Kozlova

FSAEIHE «South Ural State University (national research university)»

Аннотация:

Однофазное короткое замыкание является одним из наиболее частых видов несимметрии при эксплуатации воздушных линий электропередачи. Возникающие при этом токи могут стать причиной пожара. Образующиеся искры (капли расплавленного металла) относятся к тепловым источникам, которые обладают высокой зажигательной способностью и могут выступать источником зажигания. Существующие методики оценки не позволяют учитывать различные параметры электрической сети при определении пожароопасных параметров капель расплавленного металла. В то же время зависимости количества и размера капель расплава от тока короткого замыкания, длительности короткого замыкания и т. д. необходимы для обеспечения пожарной безопасности в линиях электропередачи. На основе результатов эксперимента и с использованием теории планирования эксперимента получена математическая модель образования капель расплавленного металла для проводов разного сечения.

Ключевые слова: пожарная опасность, воздушные линии электропередачи, короткое замыкание, частицы расплавленного металла, теория планирования эксперимента.

Abstract:

A single-phase short fault is one of the frequent types of overhead power lines unbalance. The resulting currents can cause fires. Break-sparks (melting drops) grad to heat source that have a high ignition ability and can become an ignition source. Existing assessment techniques do not allow taking in account various electrical network parameters on the fire hazardous parameters of molten metal droplets determining. At the same time, the dependences of the number and melting drops size on the short-circuit ampere, the short-circuit duration and etc. are necessary to understanding of the ensuring fire safety process in electric power lines. The mathematical model of the melting drops formation for wires of different cross sections based on the results of the experiment and using the experiment planning theory is obtained.

Key words: fire risk, overhead transmission line, short fault, melting drops, experimental design theory.

Возгорания с последующим переходом в пожар могут быть различными причинами, имеющими место при существовании несимметричных режимов в электрической сети. Одним из частых видов несимметрии воздушных линий электропередачи до 1000 В (далее – ВЛ) являются однофазные короткие замыкания (далее – ОКЗ). Возникающие при этом токи могут явиться причиной пожаров.

Результаты исследований, представленные в [1], показали, что основные средства защиты ВЛ от ОКЗ (автоматические выключатели и плавкие предохранители) являются не эффективными, а именно, не обеспечивают требуемое время отключения при возникновении ОКЗ на удаленных участках.

Согласно технической политике ОАО «МРСК Центра» длина линии электропередачи ВЛ напряжением 380 В не должна превышать 500 м. У реальных ВЛ электропередачи длина пролета является переменной величиной и определяется исходя из различных условий [2]. Для отдельных ВЛ электрических сетей напряжением 380 В характерны достаточно большая протяженность, достигающая 2000 м. В то время как защитные аппараты обеспечивают защиту линии на расстоянии 250-300 м в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (далее – ПУЭ) по времени отключения [1]. Таким образом, значительные по протяженности участки ВЛ остаются незащищенными.

Одной из причин низкой эффективности электрической защиты является пережигаяющий эффект электрической дуги, возникающей при коротких замыканиях, необходимость учета которого до сих пор не определена действующими методиками [1, 3].

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91* ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования» (далее – ГОСТ) электрические искры (капли металла), образующиеся при коротком замыкании, относятся к тепловым источникам, способным стать источником зажигания. Результаты, приведенные в [4], также свидетельствуют о том, что капли расплавленного металла, образующиеся в результате контакта проводов при коротком замыкании, имеют высокую зажигательную способность.

Однако методика, изложенная в ГОСТ, не позволяет учесть влияние различных параметров, характеризующих работу электрической сети, на определение пожароопасных параметров искр (капель расплавленного металла). В то же время зависимости количества и размера капель от тока короткого замыкания, от длительности существования замыкания и др. необходимы для понимания того, какие участки сети являются наиболее незащищенными с точки зрения пожарной безопасности при возникновении несимметричных режимов.

Для получения таких зависимостей в лабораторных условиях было проведено исследование влияния различных факторов (тока короткого замыкания, сечения проводов, длительности существования короткого замыкания) на количество и размер частиц расплавленного металла на разработанной

нами экспериментальной установке [5]. Подсчет частиц осуществлялся вручную, размер частиц определялся с помощью микрометра.

На рис. 1 – рис.3 представлены зависимости количества и размеров капель от тока короткого замыкания, времени короткого замыкания и сечения проводов марки АС (АС-35 – при фиксировании величины «сечение»).

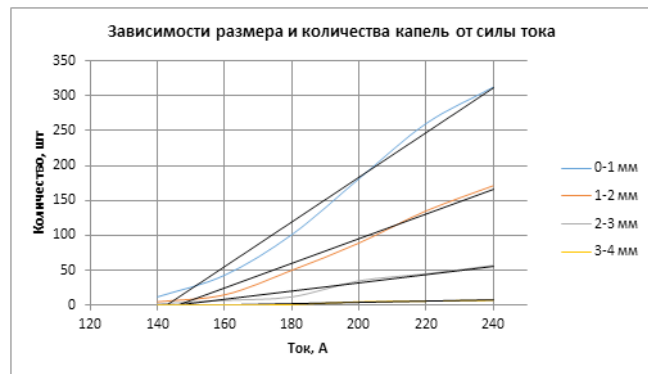


Рис. 1. Зависимости количества и размера капель от тока короткого замыкания

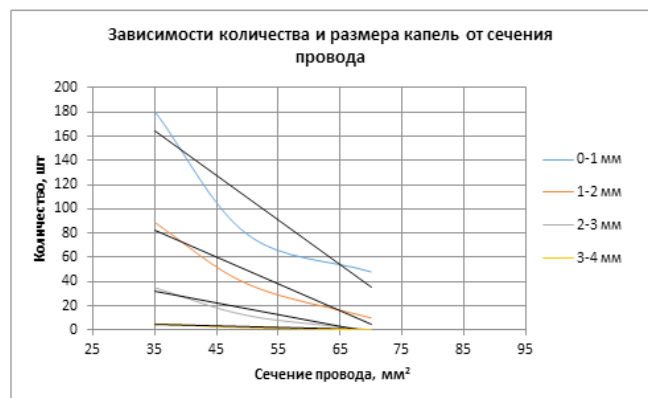


Рис. 2. Зависимости количества и размера капель от сечения провода

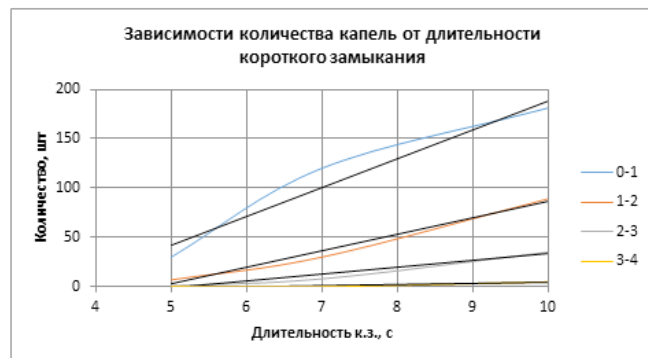


Рис. 3. Зависимости количества и размера капель от длительности короткого замыкания

Из анализа зависимостей следует, что при увеличении тока количество капель размером 0-1 мм зна-

чительно возрастает. Увеличение размера частиц, а также количества частиц более 1 мм, наблюдается с ростом тока замыкания, но носит менее интенсивный характер. При увеличении сечения провода зависимости являются обратными. Степень увеличения (уменьшения) количества частиц легко определить, представив полученные результаты в виде столбчатых диаграмм (рис.4 – рис.6).



Рис. 4. Зависимости количества и размера капель от тока короткого замыкания



Рис. 5. Зависимости количества и размера капель от сечения провода



Рис.6. Зависимости количества и размера капель от длительности короткого замыкания

Для получения более точной математической модели количества частиц расплава использована теория планирования эксперимента. Планирование

эксперимента позволяет варьировать ряд факторов и получать одновременно количественные оценки всех проявляющихся эффектов. Составлены матрицы полнофакторного эксперимента (для проводов различного сечения матрицы аналогичны). Матрица эксперимента в табл. 1.

Таблица 1. Матрица полнофакторного эксперимента

	X1 (Ток к.з., А)		X2 (Длительность к.з., с)		Y (Кол-во частиц)
	Кодированное значение	Физическое значение	Кодированное значение	Физическое значение	
1	+1	240	+1	10	Y1
2	-1	140	+1	10	Y2
3	+1	240	-1	5	Y3
4	-1	140	-1	5	Y4

В качестве отклика Y выбрано количество частиц расплавленного металла, размер которых более 1 мм (размера, достаточного для того, чтобы частица выступала в роли источника зажигания).

Управляемые факторы – ток замыкания (X1) и время существования замыкания (X2).

Диапазон варьирования тока: 140-240 А, длительности замыкания: 5-10 с. При выборе верхнего и нижнего уровней факторов учитывались ограничения, связанные со свойствами объекта исследования [6]. Ниже нижней границы выбранного токового диапазона образования капель не происходит – образуются лишь искры, сгорающие в атмосфере окружающего воздуха. Верхняя граница фактора X1 связана с максимальным значением тока, выдаваемого сварочным трансформатором, использованным в экспериментальной установке.

Выбор нижней границы длительности существования замыкания связан со временем срабатывания электрической защиты. Аппараты защиты, установленные в начале ВЛ 380 В, в соответствии с требованиями ПУЭ должны обеспечивать время отключения не более 5 с при возникновении ОКЗ на удаленных участках

При коротком замыкании, длящемся более 10 с и максимальном экспериментальном токе (240 А) происходит «отгорание» жил проводов, а также возможно полное пережигание провода сечением 25 мм², и подсчет капель и их размера не представляется возможным. Таким образом, выбор верхнего уровня фактора X2 осуществлен с учетом ограничения, связанного с разрушением объекта исследования при определенном времени замыкания.

Проведено по 3 серии опытов для проводов каждого сечения. По полученным значениям откликов и с использованием аппарата математической ста-

истики получены уравнения регрессии, принимающие вид полиномов первого порядка (достаточно для поставленной задачи). Общий вид уравнения имеет вид: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$, где b_i – коэффициенты уравнения регрессии.

Результаты расчета коэффициентов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов уравнения регрессии

	b_0	b_1	b_2	b_{12}
АС-25	81	69	56,5	51,5
АС-35	64,75	56,25	40,25	38,75
АС-50	39,75	35,75	28,75	26,75
АС-70	16	14,5	9,5	9

При переходе к действительным переменным получаем уравнения регрессии:

$$y_{AC-25} = 723,75 - 4,275x_1 - 173,1x_2 + 1,03x_1x_2$$

$$y_{AC-35} = 514 - 3x_1 - 131,15x_2 + 0,775x_1x_2$$

$$y_{AC-50} = 376,25 - 2,225x_1 - 90,15x_2 + 0,535x_1x_2$$

$$y_{AC-70} = 106,25 - 0,625x_1 - 30,4x_2 + 0,18x_1x_2$$

Если при подстановке значений величин тока и времени существования замыкания получается отрицательное число, то это означает, что капель указанного диаметра не образуется.

Выводы:

1. Для исследования процесса образования капель расплавленного металла разработана математическая модель, основанная на двухфакторном плане первого порядка.

2. Получены зависимости количества капель от тока и длительности короткого замыкания для проводов различного сечения, необходимые для дальнейших исследований пожарной опасности воздушных линий электропередачи.

Литература

1. Валеев, Р.Г. Повышение уровня электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1000 В при однофазных коротких замыканиях / Диссертация на соискание канд. техн. наук. – Челябинск, 2014. – 180 с.
2. Анастасиев, П.И. Воздушные линии напряжением до 1000 В [Текст] / П.И. Анастасиев, Ю.А. Фролов. – М.: Энергия, 1963. – 168 с.
3. Сошников, С.А. Снижение пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках объектов агропромышленного комплекса / Диссертация на соискание канд. техн. наук. – Барнаул, 2008. – 132 с.
4. Сидоров, А.И. Пожарная опасность схлестываний проводов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кВ / А.И. Сидоров, Ю.С. Семенцова // Безопасность жизнедеятельности. – 2017. – №2. – С. 32-35.
5. Козлова, Ю.С. Экспериментальная установка для исследования пожарной опасности процесса схлестывания проводов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кВ / Ю.С. Козлова // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: материалы IV Всероссийской студенческой конференции (с международным участием). Секция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – С. 221-223.
6. Методические указания по применению полного факторного эксперимента при проведении исследований / А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.