

Выбор оптимальных физических параметров режима плавки гололеда на контактной сети постоянного тока

А.В. Безуглый, Н.А. Попова

Ростовский государственный университет путей сообщения

Аннотация: Развитие современного железнодорожного транспорта предполагает применение новых инновационных технологий и оборудования. Успешная борьба с гололедообразованием на проводах контактной сети, применение схем плавки, обеспечивающих успешные результаты, совершенствует работу системы электроснабжения железнодорожного транспорта, повышая ее энергетическую эффективность.

Ключевые слова: физический процесс, электрическая дуга, плавка гололеда, расчетные коэффициенты, выбор параметров.

Развитие современного железнодорожного транспорта, в частности в направлении высокоскоростного движения, предполагает применение новых инновационных технологий и оборудования. Необходимость в совершенствовании системы электроснабжения постоянного тока на южном направлении получила новый импульс благодаря мировым спортивным событиям 2014 и 2018 годов – Олимпийским играм в Сочи и чемпионату мира по футболу. С ростом перевозок на данном направлении задача бесперебойного электроснабжения в любых метеоусловиях становится более актуальной.

На работу устройств энергоснабжения оказывают неблагоприятное влияние отложение гололеда, изморози и сопутствующий им ветер. Гололед и изморозь, попадая в зону контакта между полозом токоприемника и проводом, вызывают значительное искрение при токосъеме, что приводит к повышенному износу контактных проводов и пластин полозов токоприемников, а в ряде случаев дуговой токосъем может вызвать пережог контактного провода [1, 2]. Если своевременно не принять мер борьбы с гололедом или предупреждения его образования, то большие гололедные

отложения могут привести к значительному нарушению работы устройств электрической тяги [3].

Успешная борьба с гололедообразованием на контактной сети, применение схем плавки, обеспечивающих успешные результаты, совершенствует работу системы электроснабжения железнодорожного транспорта.

Появление электрической дуги при проходе пантографа по контактному проводу, покрытому гололедом, приводит к повышенному износу его накладок [4], что в свою очередь, резко снижает надёжность работы системы тягового электроснабжения.

Возникновение электрической дуги между двумя электродами в воздухе при атмосферном давлении происходит в определённой последовательности [5]. В начале возникает электрический пробой межэлектродного промежутка. Это возможно при определённом значении напряжённости электрического поля, которая зависит от расстояния между электродами, их формы и других факторов. Потенциал ионизации первого (запального) электрона составляет не более 4,5 – 5 В, при этом напряжение дугообразования приблизительно в два раза выше и составляет 9 – 10 В. Процесс ионизации приводит к возникновению в межэлектродном промежутке искрового разряда, импульсно замыкающего электрическую цепь [6]. Электроны искрового разряда ионизируют молекулы в воздушном промежутке. Так как тяговая сеть является источником достаточной мощности, в межэлектродном промежутке образуется достаточное количество плазмы, приводящее к снижению его сопротивления. При этом искровой разряд превращаются в дуговой. Ток дугового разряда разогревает токопроводящий канал выше 5000 °К. Ионизированный газ электрической дуги представляет собой низкотемпературную плазму, так как максимальная температура не превышает 25000 °К.

Продолжительное устойчивое горение возникшей дуги обеспечивается термоэлектронной эмиссией с электрода являющегося катодом, температурой канала, а также и ионной бомбардировкой поверхности электродов. Ионизированный газ в целом электрически нейтрален, но так как электрон обладает гораздо меньшей массой по сравнению с ионом, то при одной и той же напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке скорость движения электронов на много больше скоростей движения ионов. Этим можно объяснить то, что ток электрической дуги считается в основном электронным (ионной составляющей при этом можно пренебречь, так как она во много раз меньше). При создании модели процесса учитывают наложение на упорядоченное движение частиц под действием электрического поля их тепловое движение, носящее хаотический характер.

При профилактическом подогреве проводов и плавке гололеда ток не должен превышать значений, которые могут вызвать отжиг или пережог проводов из-за их чрезмерного нагревания.

Длительно допустимый (20 мин и более) максимальный ток фидера контактной сети $I_{\phi \max}$ определяют по формуле

$$I_{\phi \max} = \frac{K_{em}}{K_{in}} \cdot I_{\max(0)},$$

где $I_{\max(0)}$ – длительно допустимый максимальный ток, А наиболее нагреваемого провода контактной сети при температуре окружающей среды $t_{окр} = 0^{\circ}\text{C}$;

K_{em} – коэффициент увеличения допустимого тока при температурах окружающей среды ниже 0°C ;

K_{in} – коэффициент распределения тока для наиболее нагреваемого провода контактной сети [7, 8].

Вычисление температуры каждого из проводов контактной сети для их сравнения наиболее просто осуществляется для температуры окружающей среды 0°C и скорости ветра $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ [9].

Для этих условий температуру i -го провода вычисляют по формуле

$$t_{np_i} = \frac{(\kappa_i I_{kc})^2 r_{0_i}}{\pi(A d_{np_i}^a + \alpha_{ло} d_{np_i}) \cdot 10^{-3} - (\kappa_i I_{kc})^2 r_{0_i} \beta_{r/c}},$$

где I_{kc} – ток фидера контактной сети, А;

κ_i – коэффициент распределения тока фидера для i -го провода;

d_{np_i} – диаметр i -го провода, мм;

r_{0_i} – сопротивление i -го провода при температуре 0°C , $\frac{\text{Ом}}{\text{м}}$;

$\beta_{r/c}$ – температурный коэффициент отношения сопротивления провода к его теплоемкости, $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$;

$\alpha_{ло}$ – составляющая коэффициента теплоотдачи за счет лучеиспускания при температуре провода около 0°C , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$;

A , a – постоянные коэффициенты, принимаемые для контактных проводов и проводов круглого сечения $A = 70,29$, $a = 0,6$; для витых проводов $A = 45,85$, $a = 0,75$ [10].

Коэффициенты распределения тока κ_i обозначим:

κ_T – для несущего троса;

κ_{II} – для контактного провода;

κ_V – для усиливающего провода.

Для вычисления значений коэффициента κ_i находят суммарное сопротивление контактной сети при температуре 0°C по формуле

$$r_0 = \frac{1}{\frac{1}{r_{0T}} + \frac{n_{II}}{r_{0II}} + \frac{n_Y}{r_{0Y}}},$$

где r_{0T}, r_{0II}, r_{0Y} – сопротивления соответственно несущего троса T , контактного провода (с учетом износа) II и усиливающего провода Y , при температуре 0°C , Ом/км;

n_{II}, n_Y – число соответственно контактных проводов II и усиливающих проводов Y .

Значения коэффициентов κ_i (соответственно $\kappa_T, \kappa_{II}, \kappa_Y$) можно определить по формулам:

$$\kappa_T = \frac{r_0}{r_{0T}}, \quad \kappa_{II} = \frac{r_0}{r_{0II}}, \quad \kappa_Y = \frac{r_0}{r_{0Y}}.$$

Значение тока $I_{КС}$ необходимо принимать из условия

$$I_{КС} < \frac{300}{\kappa_{i,\max}},$$

где $\kappa_{i,\max}$ – наибольшее значение коэффициента распределения тока для проводов, входящих в рассматриваемую контактную сеть.

На основании вышеприведенного расчета определяется температура для каждого провода рассматриваемой контактной сети и определяются провода с наибольшей и наименьшей температурой.

Необходимо учитывать, что особенностью контактной постоянного тока сети является то, что как правило, она состоит из двух контактных проводов и одного несущего троса.

При определении провода от которого зависит значение максимального тока фидера при плавке гололеда можно рекомендовать учет износа контактных проводов 15 %.

Литература

1. Трубицин М.А., Лукашевич О.Г. Проблема гололёда на проводах воздушных линий системы электроснабжения железнодорожного транспорта // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582/.
 2. Трубицин М.А., Лукашевич О.Г. Анализ способов обнаружения гололеда на проводах ЛЭП и их применение для контактной сети // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3907/.
 3. Беляев И.А., Вологин В.А. Взаимодействие токоприёмников и контактной сети. – М.: Транспорт., 1983. – 192. с
 4. Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor // Cold Regions. Science and Technology, 2011. № 65. pp. 29 – 38.
 5. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Baïri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines // ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.
 6. Панасенко М.В., Брыкин Д.А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Воздушные линии. - 2012.–№3.–С.79-82.
 7. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередач // 1979. - С. 438.
 8. Кесельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. М.: Транспорт - 1992. –350 с.
-



9. Фрайфельд А.В., Брод Г.Н. Проектирование контактной сети– 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1991. – 335 с.
10. Марквардт К. Г. Контактная сеть: учебник для вузов ж.-д. трансп. /. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1994. – 335 с.

References

1. Trubicin M.A., Lukashevich O.G., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582/.
 2. Trubicin M.A., Lukashevich O.G., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3907/.
 3. Beljaev I.A., Vologin V.A. Vzaimodejstvie tokoprijomnikov i kontaktnoj seti [Interaction of pantographs and overhead contact system]. M.: Transport. 1983. 192 p.
 4. Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor. Cold Regions Science and Technology, 2011. № 65. pp. 29 – 38.
 5. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines. ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.
 6. Panasenko M.V., Brykin D.A. Vozdushnye linii. 2012. №3 pp.79-82.
 7. Krjukov K.P., Novgorodcev B.P. Konstrukcii i mehanicheskij raschet linij jelektroperedach [Construction and mechanical calculation of power lines]. M.: Transport. 1979. 438 p.
 8. Kesel'man, L.M. Osnovy mehaniki vozdushnyh linij jelektroperedachi [Mechanics foundation of overhead power transmission line]. 1992. 350 p.
-



9. Frajfel'd A.V., Brod G.N. Proektirovanie kontaktnoj seti [Projecting of overhead contact system], 3-e izd., pererab. i dop. M. : Transport, 1991. 335 p.

10. Markvardt K. G. Kontaktnaja set': uchebnik dlja vuzov zh.-d. transp. [Overhead contact system: textbook for railway transport institutes of higher education]. 4-izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1994. 335 p.