УДК 620.9 DOI: 10.34031/ES.2022.2.006

ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА

Шевлюгин М.В., Семенова Д.В.

РУТ(МИИТ), г. Москва

Аннотация

Высокоскоростная магистраль при проектировании встречается со множеством проблем, для решения которых необходимо находить наилучшие пути. Одной из таких проблем является пережог провода контактной сети (КС) при прохождении нейтральной вставки. Авторами предлагается устройство изолирующего сопряжения (УИС) КС, которое позволит избежать возникновения электрической дуги, а следовательно, пережога и последующего выхода из строя контактного провода. УИС КС представляет собой набор сопротивлений, изменяющихся к концу участка перед нейтральной вставкой. Наибольшую опасность будет представлять ток, возникающий при входе на нейтральную вставку, чем при выходе с нее на контактный провод (КП). В этом случае пережог КП возможен по двум причинам. Во-первых, расплавление провода возможно по классической причине – нагрев КП возникшей, в результате короткого замыкания, электрической дугой, и последующий его разрыв. Во-вторых, после введения дополнительных сопротивлений образуется новая электрическая цепь. Под воздействием тока новые элементы этой цепи – ступенчатые сопротивления – будут подвергаться нагреву, который находится в прямой зависимости от времени действия тока на определенный участок УИС КС.

В результате предложенное авторами УИС КС должно решить проблему пережога КП на железной дороге переменного тока. В ходе исследования также была получена зависимость напряжения на конкретном участке УИС КС в момент нахождения подвижного состава на этом же участке.

Ключевые слова: *нейтральная вставка, высокоскоростная магистраль, контактная подвеска, композитный материал, электрическая дуга.*

INFLUENCE OF STEP RESISTANCES ON THE CHARACTERISTICS OF THE CONTACT WIRE

Maxim Shevlyugin, Darya Semenova

RUT(MIIT), Moscow

Abstract

A high-speed highway in the design encounters many problems, for the solution of which it is necessary to find the best ways. One of these problems is the overheating of the wire of the contact network (CN) when passing through the neutral insert. The authors propose an insulating connection device (ICD) of the CN, which will allow to avoid the occurrence of an electric arc, and, consequently, the overheating and subsequent failure of the contact wire. ICD CN is a set of resistances that change towards the end of the section in front of the neutral insert. The greatest danger will be the current that occurs when entering the neutral insert than when leaving it to the contact wire (CW). In this case, the overheating of the CW is possible for two reasons. Firstly, the melting of the wire is possible for a classical reason - the heating of the CW that has arisen as a result of a short circuit by an electric arc, and its subsequent rupture. Secondly, after the introduction of additional resistances, a new electrical circuit is formed. Under the influence of current, new elements of this circuit - stepped resistances - will be subjected to heating, which is directly dependent on the time of current action on a certain section of the ICD CN. As a result, the CN proposed by the authors of the ICD

should solve the problem of overheating of the CW on the AC railway. In the course of the study, the dependence of the voltage on a specific section of the ICD CN was also obtained at the time the rolling stock was in the same section.

Keywords: *neutral insert, high-speed line, contact suspension, composite material, electric arc.*

Железная дорога является одной из основных частей всех транспортных перевозок. Соответственно, остаются актуальными задачи по решению существующих проблем или по созданию новых идей для исключения этих проблем вовсе.

На сегодняшний день железнодорожный транспорт представлен подвижными составами (ПС), работающие на топливе и электрической энергии, как на постоянном токе, так и на переменном. Перспективным направлением в развитии железнодорожной индустрии является высокоскоростная магистраль (ВСМ). Для ее работы необходимо использовать переменный ток, так как движение подвижных составов на больших скоростях актуально для преодоления больших расстояний. По [1] при использовании переменного тока за счет повышения напряжения и понижения тока возможно уменьшение сечения проводов, увеличение расстояние между питающими подстанциями и сокращение потерь в контактной подвеске. Поэтому на больших расстояниях используют переменный ток.

Контактная сеть одно из устройств, обеспечивающих передачу электрической энергии от ее источника к двигателям электропоездов посредством токоприемника [2]. Одной из важных на сегодняшний день проблем контактной подвески на переменном токе является пережог контактного провода при проходе нейтральной вставки (НВ). Эта проблема может проявиться при движении ПС на разных скоростях, а при проектировании ВСМ вероятность пережога КП сильно возрастает [3].

По ПТЭ [4] проход НВ должен быть с опущенными токоприёмниками, так как в это время может возникнуть короткое замыкания, которое бросится через полоз токоприемника на нейтральный провод. Существуют ситуации, когда вход на НВ происходит с поднятым токоприемником. Основной причиной этого является человеческий фактор. В этом случае с возникновением короткого замыкания (электрической дуги) должны бороться современные устройства защиты [5]. Но как показывает практика, и они не всегда исправно выполняют свою задачу, и тогда происходит возникновение электрической дуги, а как следствие – пережог КП.

В качестве аналога по решению функциональных задач можно принять устройство электроснабжения контактной сети переменного тока [Патент RU 2404500C1]. Данное устройство решает две проблемы: во-первых, исключает человеческий фактор и, во-вторых, делает возможным проход нейтральной вставки без выключения ЭПС тяговой нагрузки, что уменьшает время прохождения нейтральной вставки и снимает резкое падение скорости движения ЭПС. В этом устройстве исполнительным органом защиты от возникновения разрушительной дуги является отдельно стоящий высоковольтный выключатель, принадлежащий нейтральной вставке. Однако использование механического устройства «высоковольтный выключатель» сопряжено с рядом недостатков, основным из которых является ограниченная скорость проследования ЭПС нейтральной вставки.

Авторы данной статьи предлагают исключить появление электрической дуги вовсе. Если снизить электрический ток в сети до безопасных величин, то дуга не сможет образоваться при движении через НВ. Помочь в решении этой проблемы способно устройство изолирующего сопряжения контактной сети (УИС КС – Патент RU 2533768C1). Оно представляет собой набор сопротивлений разной величины (ступенчатые сопротивления), которые должны располагаться в конце КП перед НВ (рис. 1).

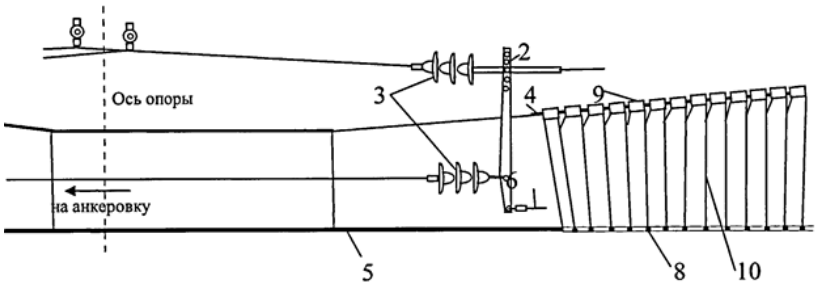

Рис. 1. Вид с боку на устройство изолирующего сопряжения контактной сети:
2 – коромысло; 3 – гирлянда изоляторов; 4 – изолированный рессорный трос; 5 – питающие контактные провода; 6 – изолированный контактный провод нейтральной вставки; 8 – контактная часть переменного сопротивления; 9 – гирлянда сопротивлений части переменного сопротивления; 10 – шлейфы переменного сопротивления

Чтобы улучшить свойства и характеристики УИС КС механические ступенчатые сопротивление необходимо заменить нанокомпозитными материалами. В этом случае также будет заметно уменьшены габаритные размеры УИС КС.

Как и любое другое устройство, тут необходимо произвести расчет многих параметров. Самым важным в процессе будет расчет на пережог КП. Для математического моделирования нам необходимы: количество участков, сопротивление каждого участка, длина УИС КС, длина каждого участка УИС КС, расчетные скорости движения ПС, сопротивление и потребляемые токи ПС, напряжение КС. Проведя удачное моделирование, будет возможен подбор материала по полученным сопротивлениям.

Перед началом расчетов надо понимать, что теперь пережог КП возможно по двум причинам:

1. Возникновение электрической дуги;
2. Многократный локальный перегрев КП на n-ом участке УИС КС [6].

Чтобы произвести расчет УИС КС на возникновение электрической дуги, надо представить ПС и КС в виде электрической схемы. Так как полное сопротивление электрической цепи на переменном токе разделяется на активное и индуктивное сопротивление [7], то вид схемы будет следующим (рис. 2).

Количество энергии в этом контуре будет рассчитываться по формуле:

$$Q_{\text{контура}} = I^2 * X_L,$$

где I – ток в сети, X_L- индуктивное сопротивление. При этом должно выполняться условие:

$$Q_{\text{контура}} < Q_{\text{дуги}},$$

где $Q_{\text{дуги}}$ – количество энергии необходимое для возникновения электрической дуги.

Так как, используя УИС КС, мы вводим в схему ряд ступенчатых сопротивлений, то под действием переменного тока будет происходить нагрев участков. В этом случае необходимо понять какой элемент будет нагреваться больше остальных и насколько.

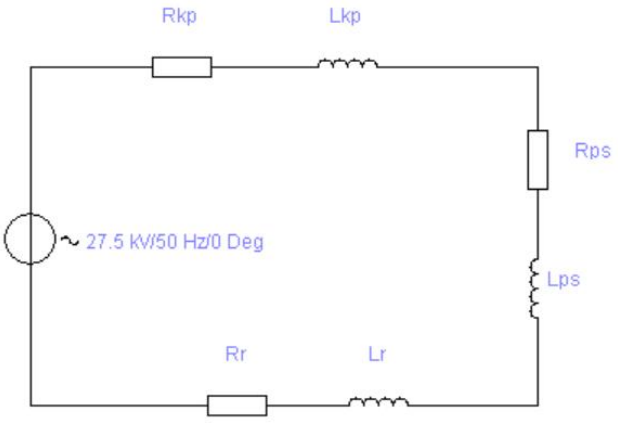

Рис. 2. Схема КП-ПС-Рельс:
Rkp, Lkp – активная и реактивная составляющая КП;
Rps, Lps - активная и реактивная составляющая ПС;
Rr, Lr - активная и реактивная составляющая рельса

Для расчетов будет использоваться провод марки МФ-100. По [8] температура плавления меди составляет 1083 °С. Зная это, мы должны произвести расчет, в результате которого будет выполнятся условие:

$$t_{и} < t_{пл},$$

где $t_{и}$ – итоговое количество тепла, которое выделится на n-ом участке УИС КС, $t_{пл}$ – температура плавления меди.

Примем сопротивление первого участка УИС КС *R1* = 2 Ом, приращение сопротивления *del* = 2 Ом. Для снижения начального тока *Iн* = 100 А до конечного *Iк* = 0.5 При этом необходимое общее количество сопротивления *Робщ* = 58 кОм с учетом собственного сопротивления ПС. Тогда количество участков *n* = 240 штук. Принимая длину УИС КС *l* = 5 метров, длина каждого участка будет равна *lуч* = 20.8 мм, при условии, что все участки равны между собой. График зависимости напряжения от участка представлен на рис. 3.

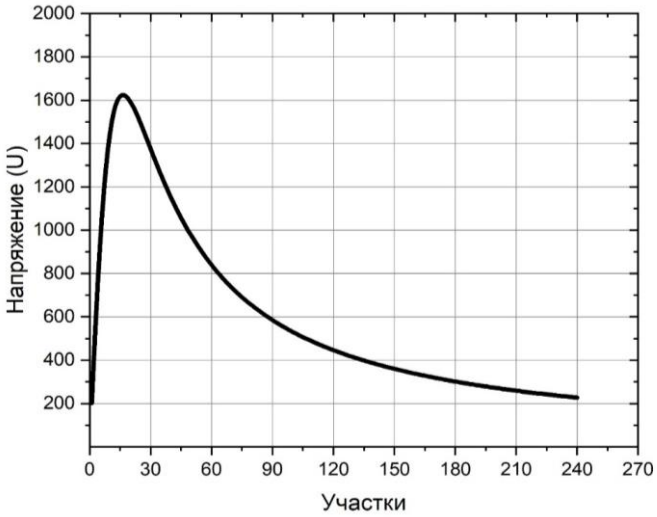

Рис. 3. Зависимость напряжения от номера участка

График показывает напряжение n-ого участка в момент нахождения ПС на n-ом участке. При моделировании нагрева участков УИС КС надо учитывать, что максимальный нагрев в прямой зависимости от времени воздействия тока на участок. Следовательно, n-ый участок получит максимального количество тепла в момент, когда ПС находится на последнем элементе УИС КС.

Для расчета более подробных параметров необходимо провести дополнительные исследования.

Выводы:

1. Пережог контактного провода недопустим на железной дороге
2. Для исключения пережога КП необходимо использовать УИС КС
3. При расчете параметров УИС КС необходимо учитывать условия пережога КП: возникновение электрической дуги и локальный перегрев участка УИС КС

Библиографический список

1. Мамошин Р.Р., Зимакова А.Н. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1980. 296 с.
2. Марквардт К.Г. Контактная сеть; 4-е изд. М.: Транспорт, 1994 335 с.

3. Кластерные технологии, обеспечивающие повышение надежности высокоскоростных магистралей / Г.Р. Маеров, Л.И. Матюшкова, О.М. Васильева и др. // Наука и образование транспорту. 2015. № 1. С. 221-222. EDN: VOKPTZ
4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. М.: Минтранс, 2011. 21 с.
5. Петрова Т. Е., Фигурнов Е. П. Защита от перегрузки по току проводов воздушных линий электропередачи // Электричество. 1991. № 8. С. 61-64.
6. Марквардт К.Г., Власов И.И. Контактная сеть; 3-е изд. М.: Транспорт, 1977. 272 с.
7. Бондарев Н.А., Чекулаев В.Е. Контактная сеть. М.: Маршрут, 2006. 590 с.
8. Алиев И.И. Электротехнический справочник. Т. 1. М.: ИП РадиоСофт, 2006. С. 246.

References

1. Mamoshin, R. R., & Zimakova, A. N. (1980). *Elektrosnabzheniye elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [*Power supply of electrified railways*]. Transport. [In Russian]
2. Marquardt, K. G. (1994). *Kontaktnaya set'* [*Contact network*]. Transport. [In Russian]
3. Maerov, G. R., Matyushkova, L. I., Vasilyeva O. M., Ryazanova, I. S., Vostrukhina, O. A., Lobov, I. A., Kulazhnikova, A. D., & Agarkova, V. V. (2015). Klasternyye tekhnologii, obespechivayushchiye povysheniye nadezhnosti vysokoskorostnykh magistraley [Cluster technologies that improve the reliability of high-speed lines]. *Nauka i obrazovanie transportu, 1,* 221-222. [In Russian]
4. Mintrans (2011). *Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation*. Mintrans. [In Russian]
5. Petrova, T. E., & Figurnov, E. P. (1991). Zashchita ot peregruzki po toku provodov vozdushnykh liniy elektroperedachi [Protection against current overload of wires of overhead power lines]. *Electricity, 8,* 61-64. [In Russian]
6. Markvardt, K. G., & Vlasov, I. I. (1977). *Kontaktnaya set'* [*Contact network*]. Transport. [In Russian]
7. Bondarev, N. A., & Chekulaev, V. E. (2006). *Kontaktnaya set'* [Contact network]. Marshrut.
8. Aliev, I. I. (2006). *Elektrotekhnicheskiy spravochnik. T. 1* [*Electrotechnical reference book. Vol. 1*]. RadioSoft. [In Russian]

Сведения об авторах

Шевлюгин Максим Валерьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры «Электроэнергетика транспорта». SPIN-код: 4123-6584

Семенова Дарья Владимировна – аспирант, ассистент кафедры «Электроэнергетика транспорта»

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ), 127994, ГСП-4, г. Москва, ул Образцова, д. 9, стр. 9

Authors about

Maxim V. Shevlyugin – Grand Ph.D., Professor, Head of the Department of Electrical Power Engineering.

Darya V. Semenova – post-graduate student, assistant of the Department of Electrical Power Engineering.

"Russian University of Transport" (MIIT), 9b9 Obrazcova Ulitsa, Room 1301, Moscow 127994