

УДК 621.332:621.316

DOI:10.46960/2658-6754\_2022\_2\_111

## **МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ**

**Ю.И. Жарков**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

Ростов-на-Дону, Россия

ORCID: 00000-0003-3939-4812 e-mail: asel@rgups.ru

**Н.А. Попова**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

Ростов-на-Дону, Россия

ORCID: 0000-0003-2010-8310 e-mail: asel@rgups.ru

**Е.П. Фигурнов**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

Ростов-на-Дону, Россия

e-mail: asel@rgups.ru

Проанализированы вопросы эксплуатации линий электропередачи напряжением до 35 кВ для электроснабжения железнодорожных нетяговых потребителей электроэнергии. Приведен перечень основных методов контроля выполнения мер безопасности при строительстве, обновлении или реконструкции линий электропередачи для электроснабжения нетяговых потребителей. Дано их краткое описание и ссылки на нормативные источники.

**Ключевые слова:** железнодорожные нетяговые потребители, контроль требований безопасности, линия электропередачи.

**Для цитирования:** Жарков Ю.И., Попова Н.А., Фигурнов Е. П. Методы контроля безопасности железнодорожных линий электропередачи напряжением до 35 кВ // Интеллектуальная Электротехника. 2022. № 2. С. 111-120.

DOI: 10.46960/2658-6754\_2022\_2\_111

## **SAFETY CONTROL METHODS FOR RAILWAY POWER TRANSMISSION LINES WITH VOLTAGE UP TO 35 kV**

**Yu.I. Zharkov**

Rostov State Transport University

Rostov-on-Don, Russia

ORCID: 00000-0003-3939-4812 e-mail: asel@rgups.ru

**N.A. Popova**

Rostov State Transport University

Rostov-on-Don, Russia

ORCID: 0000-0003-2010-8310 e-mail: asel@rgups.ru

**E.P. Figurnov**

Rostov State Transport University

Rostov-on-Don, Russia

e-mail: asel@rgups.ru

**Abstract.** The article deals with issues related to the operation of power transmission lines with a voltage of up to 35 kV for the power supply of railway non-traction consumers of electricity. The list of major methods of safety control during building, renewing or reconstruction of electrified railway lines for supplying of non-traction consumers is given. Their brief description and references to normative sources are given.

**Keywords:** control of safety requirements, railway non-traction consumers, power transmission line

**For citation:** Yu.I. Zharkov, N.A. Popova and E.P. Figurnov, "Safety control methods for railway power transmission lines with voltage up to 35 kV", *Smart Electrical Engineering*, no.2, pp. 111-120, 2022. DOI:10.46960/2658-6754\_2022\_2\_111

**I. Введение**

Линии электропередачи (ЛЭП) напряжением до 35 кВ для электрообеспечения железнодорожных нетяговых потребителей электроэнергии, как часть инфраструктуры железнодорожного транспорта, должны отвечать требованиям безопасности, в состав которых входят: безопасные расстояния, допустимые значения сопротивления заземляющих устройств, допустимый уровень промышленных радиопомех, пожарная безопасность, электрическая прочность изоляции, безопасные уровни нагрева проводников и воздействия электромагнитных полей, механическая прочность элементов линии [1-3]. Требования безопасности должны быть учтены в полном объеме при разработке проектной документации, строительстве, реконструкции или обновлении ЛЭП.

Полноту и качество использования указанных требований следует осуществлять путем анализа проектной документации, контроля и измерений при приемке ЛЭП в эксплуатацию.

**II. Основные методы контроля выполнения мер безопасности**

При выполнении контроля и измерений необходимо руководствоваться требованиями безопасности [4], межотраслевыми правилами по

охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок [5] и правилами безопасности [6]. Протокол испытаний ЛЭП должен содержать сведения и соответствовать требованиям, установленным в [1].

При контроле расстояний фактические (измеренные) значения сопоставляются с нормативными. Измерения следует выполнять в светлое время суток при сухой погоде и скорости ветра не более 10 м/с. Напряжение на контролируемой линии, а также на других линиях, расположенных совместно на тех же опорах, должно быть снято. Измерения можно производить с помощью мерной линейки, складного метра, рейки, рулетки со шкалами, имеющими цену деления 1 мм, каната, лазерного или ультразвукового измерителей расстояния, угломерного прибора-теодолита. Относительная погрешность измерения расстояний не должна превышать 3%.

Фактическую стрелу провеса  $f_c$  определяют по формуле:

$$f_c = h_0 - h_c - \Delta h_3, \quad (1)$$

где  $h_0$  – измеренное значение наименьшей высоты от поверхности земли возле опоры до точки крепления провода на этой опоре;  $h_c$  – измеренное расстояние по вертикали от низшей точки провода до поверхности земли;  $\Delta h_3$  – разность уровней поверхности земли под стрелой провеса и возле опоры с низшей точкой подвеса провода.

При измерении  $h_0$  и  $h_c$  необходимо фиксировать температуру окружающего воздуха и по монтажным кривым или таблицам привести стрелу провеса  $f_c$  к температуре, при которой эта стрела получается наибольшей  $f_{\max}$ . Наименьшее расстояние от низшей точки провода до поверхности земли  $h_{\min}$  вычисляют по формуле

$$h_{\min} = h_0 - f_{\max} - \Delta h_3. \quad (2)$$

Контролируемые расстояния следует признавать безопасными, если они не превышают нормативных значений и отличаются от проектных не более чем на минус 10 %.

При контроле сопротивления заземлителей – это сопротивление следует измерять с помощью специального измерительного прибора и сравнить измеренное значение с нормой. Контроль следует производить при отсоединенном от заземляющих спусков заземлителя. Отсоединение необходимо выполнить с соблюдением требований безопасности [4-6]. Для измерений надо забивать в грунт два вспомогательных электрода (токовый и потенциальный), причем токовый электрод должен находиться на расстоянии от края заземлителя  $L_{эм}$ , равном не менее, чем трехкратному размеру этого заземлителя, а потенциальный электрод для трех циклов измерений следует

разместить при каждом из циклов на расстоянии соответственно  $L_{3п} = 0,4 L_{3т}$ ;  $L_{3п} = 0,5 L_{3т}$ ;  $L_{3п} = 0,6 L_{3т}$ .

Измерительный прибор соединяют с электродами гибкими проводами и выполняют три цикла по три измерения в каждом, после чего находят среднее значение сопротивления в каждом цикле. Если измеренные сопротивления в первом и в третьем циклах отличаются не более чем на 10 %, то в качестве контрольного принимают среднее значение сопротивления, измеренное во втором цикле. Это сопротивление, умноженное на коэффициент, учитывающий степень влажности грунта, признается соответствующим норме, если указанное произведение не превышает нормативного значения.

В качестве измерительного прибора следует использовать измеритель сопротивления заземлений с диапазоном измерения от 0 до 15 кОм, классом точности не хуже 4,0. Погрешность измерений не должна превышать 30 %.

Метод контроля промышленных радиопомех следует использовать по [7, 8]. При контроле выполнения требований пожарной безопасности при государственной экспертизе и приемке, следует проанализировать проектную документацию и определить соответствие с устройствами ЛЭП после завершения строительства, реконструкции, или обновления. Соответствие мер пожарной безопасности требованиям [9], других нормативных документов требуется отразить в протоколе и в заключении о готовности к приемке, составляемым рабочей комиссией по утвержденной форме в соответствии с порядком приемки и ввода в эксплуатацию, установленных [1].

При контроле электрической прочности изоляторов надо осуществлять их испытания повышенным напряжением (до монтажа ЛЭП), измерение сопротивления изоляции перед их установкой на ЛЭП (только для линейных подвесных, тарельчатых фарфоровых изоляторов) и испытание всех изоляторов после монтажа на включенной под напряжение ЛЭП на предмет выявления световых или ультразвуковых признаков нарушения изоляции. Испытания повышенным напряжением (до 50 кВ) выполняются на специальной высоковольтной установке для испытания диэлектриков. Успешно прошедшими это испытание признаются изоляторы, у которых во время контроля не произошло внешних повреждений и перекрытия по поверхности.

Измерение сопротивления изоляторов выполняют мегомметром на напряжение 2500 В. Допускаются к установке изоляторы с сопротивлением не менее 300 МОм. Контроль световых и ультразвуковых признаков частичных разрядов по поверхности изоляторов следует выполнять с помощью специальных электронно-оптических и ультразвуковых дефектоскопов. Находящийся на опоре под напряжением изолятор признается дефектным,

если при испытании на его поверхности зафиксированы видимые частичные разряды или фиксируется звуковой сигнал ультразвукового дефектоскопа, усиливающийся при приближении к опоре.

При контроле электрической прочности изоляции кабельных линий следует измерить сопротивление изоляции кабелей и выполнить их испытание повышенным напряжением после завершения строительства. Измерение сопротивления необходимо осуществлять дважды: до и после испытания повышенным напряжением. Контроль следует осуществлять в сухую погоду в светлое время суток, причем, перед измерением сопротивления (после испытания повышенным напряжением) кабельная линия должна быть разряжена путем соединения всех жил и металлических элементов между собой и заземлителем в течение двух минут. Для измерения сопротивления изоляции следует использовать мегаомметр на напряжение 2500 В с допустимой основной погрешностью не более 5 % в интервале от 100 МОм до 100 ГОм. Испытание повышенным напряжением необходимо выполнять с помощью специальной мобильной установки, оборудованной высоковольтной аппаратурой для испытания диэлектриков, соответствующей [10].

Контроль следует осуществлять на линии, отключенный от источников питания и присоединенных к ней потребителей. Вместе с кабелем испытываются концевые муфты и опорные изоляторы. Кабельные выводы и вставки на воздушной линии испытываются без отсоединения от этой линии, но при отсоединенных вентильных разрядниках.

Измерение сопротивления кабельной линии мегаомметром осуществляют между каждым двумя жилами и металлической оболочкой («землей») в течение одной минуты. Повышенное натяжение испытательной установки прикладывается поочередно между каждой жилой кабеля и заземлителем, при этом другие (неиспытываемые) жилы вместе с оболочкой должны быть присоединены к заземляющему устройству. Испытательное напряжение следует поднимать до испытательного значения плавно и поддерживать испытательное напряжение неизменным в течение заданного времени. Значение испытательного напряжения и длительность времени его приложения определяются техническими условиями и нормативно-технической документацией завода-изготовителя кабельной продукции. В процессе испытаний необходимо фиксировать значение тока утечки и исправность изоляции. Если в процессе испытания не происходит уменьшения тока утечки, этот ток возрастает или является нестабильным, то испытание следует проводить до выявления дефекта (пробоя изоляции), но не более чем 15 мин.

Кабельная линия признается отвечающей требованиям по сопротивлению, если измеренное значение этого сопротивления для кабелей напряжением до 1 кВ не менее 0,5 МОм, а для кабелей напряжением свыше 1 кВ – не снижается после испытания повышенным напряжением по сравнению со значением, измеренным до указанного испытания. Кабельная линия признается выдержавшей испытания повышенным напряжением, если во время испытаний не произошло пробоя изоляции или перекрытия по поверхности концевых муфт, не наблюдается резких толчков тока утечки и не происходит его перекрытия, ток утечки и коэффициент его асимметрии не превышают допустимых значений.

При контроле термической безопасности надо осуществить анализ проектной документации на предмет учета требований термической устойчивости для проводов и кабелей при расчетном токе нагрузки и в режиме короткого замыкания. Кроме того, следует осуществлять выборочную проверку контактных соединений и зажимов проводов, концевых муфт кабельных линий на ЛЭП после завершения ее сооружения, обновления или реконструкции. Такие проверки должны выполняться на включенной под рабочее напряжение ЛЭП при ее нагрузке не менее 60% от расчетной в облачную погоду или темное время суток при скорости ветра не более 5 м/с.

При контроле контактных соединений и зажимов проводов воздушных линий, а также концевых муфт кабельных линий, следует измерять превышение температуры (перегрев) над температурой окружающей среды контролируемого узла данной фазы и превышение температуры другой фазы (или целого участка провода той же фазы, отстоящего от контролируемого узла на расстояние не менее 1 м). В качестве измерительных средств необходимо использовать инфракрасные пирометры или многофункциональные тепловизоры с температурной чувствительностью не менее 0,5 °С, с помощью которых измерения осуществляют дистанционно на безопасном расстоянии без прикосновения к частям ЛЭП, находящимся под напряжением. Контролируемый узел признается термически безопасным, если превышение его температуры не превосходит превышение температуры указанного выше участка провода или заведомо исправного аналогичного узла другой фазы.

При контроле уровня магнитного поля промышленной частоты 50 Гц на селитебных территориях используются методы, установленные Роспотребнадзором [11]. При контроле уровня высокочастотного электромагнитного поля ЛЭП, (если ее провода используются как каналы высокочастотной связи), применяются методы, установленные санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами [12, 13].

При контроле механической прочности элементов ЛЭП осуществляется анализ проектной документации на предмет обоснования механической прочности принятых для монтажа элементов и их соответствия нормативным требованиям. Контроль выполняется при государственной экспертизе сравнением типоразмеров смонтированных элементов с принятыми в проекте по результатам обследования ЛЭП после завершения ее строительства, реконструкции или обновления, при строительном контроле и приемке в соответствии с [1]. При сопоставлении размеров смонтированных элементов с размерами по стандарту, техническим условиям или паспортным значениям измеряют диаметр проводов с погрешностью не более 0,1 мм, размеры изоляторов и арматуры, а также размеры стоек с относительной погрешностью не более 3 %.

При контроле механической защиты кабелей осуществляют проверку принятых в проектной документации мер и их соответствие выполненным при строительстве, реконструкции или обновлении. Контроль соответствия осуществляют путем анализа проектной документации при государственной экспертизе и приемке, наблюдении за монтажом при строительном контроле, выборочной частичной откопке траншей в соответствии с требованиями [1]. При контроле измеряют ширину и глубину траншеи, толщину подсыпки и засыпки, фиксируют число кабелей в траншее, вид и марку механической защиты. Для измерений допускается использование мерной линейки, рулетки, других измерительных средств с ценой деления 1 мм с погрешностью не более 5 мм. Механическая защита признается отвечающей требованиям безопасности, если ее выполнение и место установки соответствуют установленным нормам.

### **III. Заключение**

Для обеспечения безопасности при эксплуатации линий электропередачи напряжением до 35 кВ необходимо соблюдать ряд требований, исключающих возможность вредного и опасного влияния на объекты инфраструктуры, оперативный персонал, окружающую среду. В материалах публикации приведен перечень и даны рекомендации по применению основных методов контроля выполнения мер безопасности при строительстве, обновлении или реконструкции линий электропередачи напряжением до 35 кВ.

© Жарков Ю.И., 2022

© Попова Н.А., 2022

© Фигурнов Е.П., 2022

*Поступила в редакцию 13.04.2022*

*Received 13.04.2022*

**Библиографический список**

- [1] ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. Принят 2011-07-15.
- [2] ТР ТС 002/2011. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта. 2011-07-15.
- [3] Жарков Ю.И., Попова Н.А., Фигурнов Е.П. Требование безопасности для железнодорожных линий электропередачи напряжением до 35 кВ // Интеллектуальная Электротехника. 2021. № 1. С.74-82. DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_1\_74
- [4] ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности. Введ. 1981-07-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 8 с.
- [5] ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. Введ. 2001-07-01. М.: Издательство «НЦ ЭНАС», 2001. – 216 с.
- [6] ЦЭ-750. Правила безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог. М.: ТРАНСИЗДАТ, 2000. – 80 с.
- [7] ГОСТ 22012-82. Радиопомехи промышленные от линий электропередачи и электрических подстанций. Нормы и методы измерения. Введ. 1983-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.
- [8] ГОСТ 29205-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний. Введ. 1993-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 5 с.
- [9] ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. Введ. 1992-07-01. М.: Стандартиформ, 2006. – 64 с.
- [10] ГОСТ 2990-78. Кабели, провода, шнуры. Методы испытания напряжением. Введ. 1980-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
- [11] ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях. Утв. 2007-08-21. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 8 с.
- [12] СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов (в редакции Изм. №1, Утв. 2007-12-19).
- [13] СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. Утв. 2003-02-19, с Изм. №1 СанПиН 2.1.8/2.2.4.2490-09, Утв. 2009-03-02.

**References**

- [1] O bezopasnosti infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta [On the safety of the railway transport infrastructure], TR CU 003/2011, July 15, 2011 (in Russian).
- [2] O bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta [On the safety of high-speed rail transport], TR CU 002/2011, July 15, 2011 (in Russian).



- [3] Yu.I. Zharkov, N.A. Popova N.A. and E.P. Figurnov, "Safety requirement for railway power transmission lines with voltage up to 35 kV", *Smart Electrical Engineering*, no. 1, pp. 74-82, 2021. DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_1\_74 (in Russian).
- [4] Occupational safety standards system. Electrical tests and measurements. General safety requirements, GOST 12.3.019-80, July 1, 1981 (in Russian).
- [5] Mezhotraslevye pravila po ohrane truda (pravila bezopasnosti) pri ekspluatatsii elektroustanovok [Intersectoral rules on labor protection (safety rules) during the operation of electrical installations], POT R M-016-2001, RD 153-34.0-03.150-00, July 1, 2001 (in Russian).
- [6] *CE-750. Pravila bezopasnosti pri ekspluatatsii kontaktnoj seti i ustrojstv elektrosnabzheniya avtoblokirovki zheleznih dorog [Safety rules for the operation of the contact network and power supply devices for automatic blocking of railways]*. Moscow: TRANSIZDAT, 2000 (in Russian).
- [7] Man-made noise from overhead power lines and electric substations. Limits and measuring methods, GOST 22012-82, July 1, 1983 (in Russian).
- [8] Electromagnetic compatibility of technical means. Man-made noise from electrical transport. Limits and test methods, GOST 29205-91, Jan. 1, 1993 (in Russian).
- [9] Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements, GOST 12.1.004-91, July 1, 1992 (in Russian).
- [10] Cables, wires and cords. Methods of voltage test, GOST 2990-78, Jan. 1, 1980 (in Russian).
- [11] Predel'no dopustimye urovni magnitnyh polej chastotoj 50 Gc v pomeshcheniyah zhi-lyh, obshchestvennyh zdaniy i na selitebnyh territoriyah [Maximum permissible levels of magnetic fields with a frequency of 50 Hz in residential, public buildings and residential areas], GN 2.1.8/2.2.4.2262-07, Aug. 21, 2007 (in Russian).
- [12] Gigienicheskie trebovaniya k razmeshcheniyu i ekspluatatsii peredayushchih radio-tekhnicheskikh ob"ektov [Hygienic requirements for the placement and operation of transmitting radio engineering facilities], SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03 (in ed. no. 1 on Dec. 19, 2007) (in Russian).
- [13] Elektromagnitnye polya v proizvodstvennyh usloviyah [Hygienic requirements for the placement and operation of transmitting radio facilities], SanPiN 2.2.4.1191-03, Feb. 19, 2003, in ed. no. 1 by SanPiN 2.1.8/2.2.4.2490-09 on March 2, 2009 (in Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Жарков Юрий Иванович**, доктор технических наук, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация.

**Yury I. Zharkov**, D. Sci. (Eng.), professor of the Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation.

**Попова Наталия Андреевна**, кандидат технических наук, заведующая кафедрой Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Natalia A. Popova**, Cand. Sci. (Eng.), head of the chair of the Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Фигурнов Евгений Петрович**, доктор технических наук, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Evgeny P. Figurnov**, D. Sci. (Eng.), professor of the Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation