

ЛЯХОМСКИЙ А.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ПЕТРОВ Г.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

КУТЕПОВ А.Г. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ TN

Рассмотрены различные случаи прикосновения человека к аварийному оборудованию в электрической сети напряжением до 1 кВ при разных типах заземления в системе TN. При анализе различных случаев получены аналитические зависимости напряжения прикосновения от различных параметров электрической сети. Для различных случаев прикосновения человека в электрической сети с глухозаземленной нейтралью (система TN) рассмотрены переходные процессы.

Ключевые слова: условия электробезопасности, короткое замыкание, электрическая сеть с изолированной нейтралью, электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью, системы заземления, переходный процесс.

Введение

В электрических сетях напряжением до 1 кВ промышленные предприятия горнодобывающей отрасли в основном используют две системы заземления: в местах проведения открытых и подземных горных работ – электрическую сеть с изолированной нейтралью (система IT), для питания электропотребителей поверхностного комплекса – электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью (система TN) [1, 2].

В данных электрических сетях одной из основных мер защиты человека от поражения электрическим током является защитное заземление. Вопросам устройства заземления в электрических сетях промышленных предприятий посвящены работы многих авторов [3–10]. В данных работах выполнен анализ поражения электрическим током в различных электрических сетях, рассмотрены вопросы моделирования напряжения прикосновения и устройство защитного заземления в электрических сетях с разными системами заземления.

Однако в приведенных работах нет сравнительного анализа условий электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1 кВ с различными типами систем заземления. Промышленные объекты

горнодобывающей отрасли согласно Федеральному закону № 116-ФЗ от 15.03.2013 г. [11] относятся к опасным производственным объектам. На таких объектах согласно [2] должна применяться электрическая сеть с изолированной нейтралью источника питания. Однако в действующих нормативных документах [12] нет достаточной четкости по условиям применения режима нейтрали на участках, находящихся на определенном расстоянии от места ведения горных работ, или на объектах обогатительной фабрики.

В данной статье ставится задача по выполнению анализа условий электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1 кВ с системами заземления TN-C, TN-S и TT.

Основная часть

Аналізу была подвержена электрическая сеть напряжением до 1 кВ опытного участка обогатительной фабрики, однолинейная схема электроснабжения которой приведена на рис. 1. На рис. 1 представлена схема электроснабжения с системой заземления TN-S. При определенной корректировке для опытного участка можно получить электрическую сеть и с другими системами заземления: TN-C и TT.



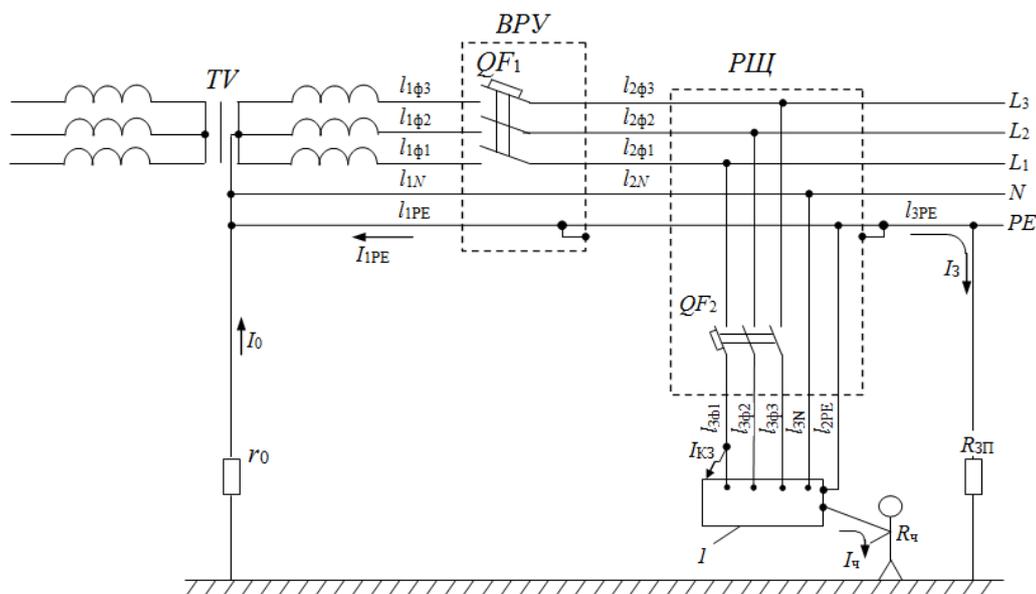


Рис. 1. Схема электроснабжения испытательного участка в системе TN-S:

I – аварийный электроприемник; TV – силовой трансформатор (источник питания); $ВРУ$ – вводно-распределительное устройство; $РЩ$ – распределительный щит; QF_1, QF_2 – автоматические выключатели; L_1, L_2, L_3 – фазы силовой питающей сети; N – нулевой рабочий проводник; PE – нулевой защитный проводник; $R_ч$ – сопротивление тела человека, Ом; r_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника питания, Ом; $R_{3П}$ – сопротивление повторного заземлителя, Ом; $l_{1φ1}, l_{2φ1}, l_{3φ1}$ ($l_{1φ2}, l_{2φ2}, l_{3φ2}$ и $l_{1φ3}, l_{2φ3}, l_{3φ3}$) – соответственно протяженности линий № 1, № 2 и № 3 фазы № 1, фазы № 2 и фазы № 3, м; l_{1N}, l_{2N}, l_{3N} – соответственно протяженности линий № 1, № 2 и № 3 нулевого рабочего проводника, м; $l_{1PE}, l_{2PE}, l_{3PE}$ – протяженности линий № 1, № 2 и № 3 нулевого защитного проводника, м; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания, А; $I_ч$ – часть тока КЗ, проходящего через тело человека, А; $I_{1PE}, I_{2PE}, I_{3PE}$ – части тока КЗ, проходящие соответственно через защитные проводники, А; I_0 – часть тока КЗ, проходящая через заземление нейтрали, А

В работах [13, 14] рассматривается замыкание фазы на корпус без участия человека, в работе [15] – при наличии человека в системе TN-C.

В рассматриваемой статье проанализированы различные случаи прикосновения человека к оборудованию, оказавшемуся под напряжением при различных системах заземления: TN-C, TN-S и TT, являющихся разновидностью системы TN.

Для анализа различных случаев системы TN рассматривался типовой участок обогатительной фабрики со следующими данными:

1. Трансформатор ТМ-1600/6-0,4.
2. Линия № 1 (от ТМ до ВРУ): шина АДЗ1 80×10 (3 шт.), $l_1 = 10$ м.
3. Линия № 2 (от ВРУ до РЩ № 1): кабель АНРГ 4×185 (2 шт.), $l_2 = 200$ м.
4. Линия № 3 (от РЩ № 1 до ЭД: шаровая мельница – ШМ): $P_n = 25$ кВт, $l_3 = 50$ м.

5. Магистральная стальная шина 40×4, $l = 270$ м (PE_1).

6. Стальная шина от ШМ до магистральной стальной шины 40×4, $l = 10$ м (PE_2).

7. Стальная шина от ШМ до повторного заземлителя 40×4, $l = 50$ м (PE_3).

На рис. 2 представлена модель электрической сети при замыкании фазы на корпус электрооборудования с системой заземления TN-S при пятипроводной схеме электроснабжения.

При анализе в качестве пола был принят бетон повышенной влажности ($R_n = 300$ Ом), а в качестве обуви была принята кожа влажная ($R_{об} = 500$ Ом) и резиновая обувь влажная ($R_{об} = 1500$ Ом). Сопротивления пола и обуви были приняты по материалам М.Р. Найфельда [16].



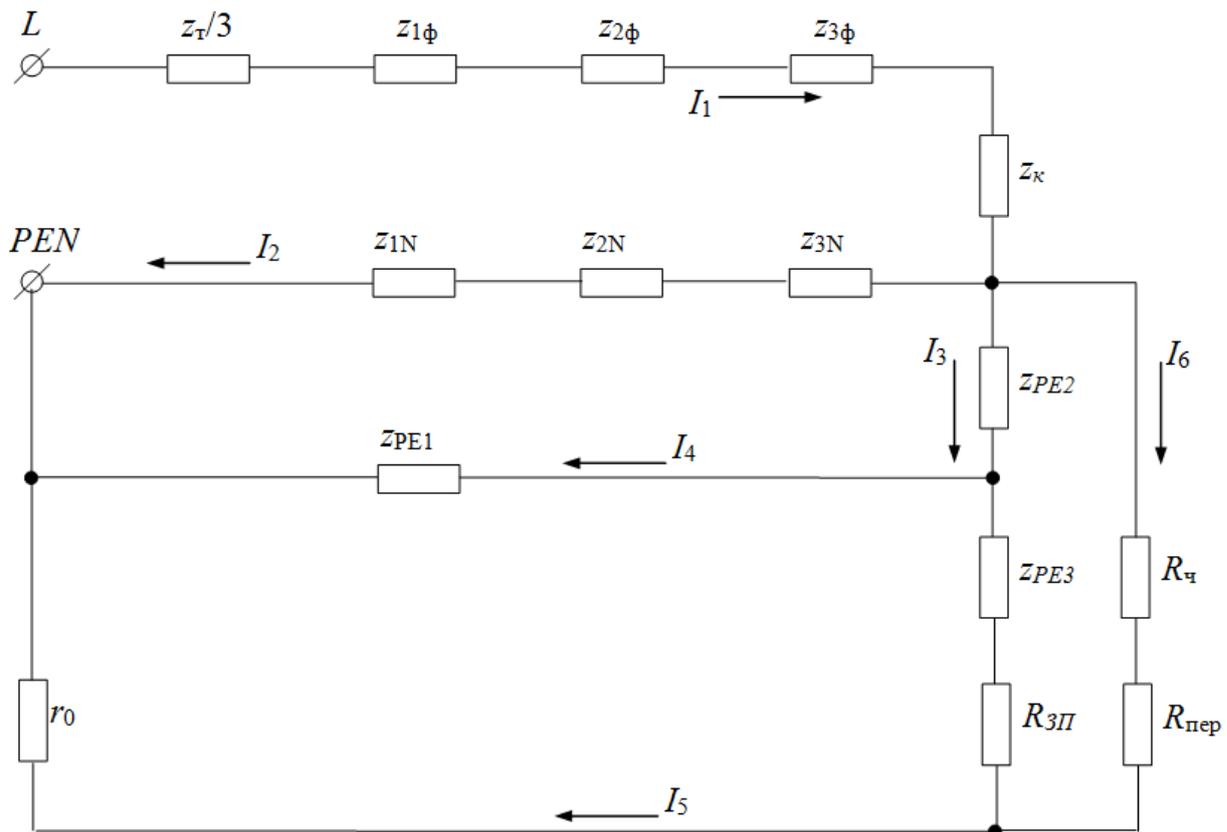


Рис. 2. Общая схема замещения:

z_{τ} – полное сопротивление трансформатора, Ом; z_k – сопротивление контакта в месте замыкания, Ом; $R_{\text{пер}} = R_{\text{п}} + R_{\text{об}}$ – переходное сопротивление между полом и человеком, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом

При анализе данной схемы были рассмотрены три случая:

- прикосновение к аварийному оборудованию в случае отсутствия повторного заземлителя;
- прикосновение к аварийному оборудованию, расположенному от повторного заземлителя на определенном расстоянии;
- прикосновение к аварийному оборудованию, расположенному непосредственно у повторного заземлителя.

Для всех случаев были получены аналитические выражения токов и напряжения прикосновения. Для электрической сети напряжением до 1 кВ с системой заземления TN-S они выглядят следующим образом:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{\phi} Z_{10} + Z_{11}}{Z_1 + R_k Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{\phi} \cdot Z_{10}}{Z_1 + R_k Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{\phi} \cdot Z_{11}}{Z_1 + R_k Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{U}_{\text{пр}} = \dot{U}_{\phi} \times \frac{R_k Z_4 + Z_7 Z_{10} + Z_{11} + Z_7 \cdot Z_{11} R_{\text{ч}} + R_{\text{пер}}}{Z_4 + Z_7 [Z_1 + R_k Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}]}$$

При анализе были получены зависимости напряжения прикосновения от следующих параметров электрической сети:

- R_k – контактное сопротивление в месте контакта;
- $R_{\text{пер}}$ – переходное сопротивление;
- $R_{3П}$ – сопротивление повторного заземлителя;



• соотношения цепи фазного проводника и цепи заземления;

• соотношения цепи заземления нейтрали и цепи сопротивления человека.

В табл. 1 и на рис. 3 приведена зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{зп}$, в табл. 2 и на рис. 4 – зависимость напряжения прикосновения от соотношения сопротивлений цепи фазного

проводника и цепи заземления, в табл. 3 и на рис. 5 – зависимость напряжения прикосновения от сопротивления повторного заземлителя $R_{зп}$, в табл. 4 и на рис. 6 – зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_ч$ электрической сети напряжением до 1 кВ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*.

Таблица 1

Зависимость $U_{пр}=f(r_0/R_{зп})$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_0/R_{зп}$	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0
$U_{пр}$, В	94,74	82,12	66,25	50,29	37,46	31,94
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_0/R_{зп}$	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0
$U_{пр}$, В	74,31	63,01	48,60	33,86	21,83	16,6
Система заземления <i>TT</i>						
$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$
$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В

Таблица 2

Зависимость $U_{пр}$ от соотношения сопротивлений цепи фазного проводника и цепи заземления в системах *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	72,67	58,26	41,71	32,56	26,22	22,52
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	89,63	62,05	38,51	28,56	21,89	18,01
Система заземления <i>TT</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	77,21	66,34	51,76	42,42	35,95	31,19

Таблица 3

Зависимость $U_{пр}=f(R_{зп})$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	30,78	51,03	66,46	86,63
Система заземления <i>TN-S</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	29,72	66,41	90,90	131,42
Система заземления <i>TT</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	11,76	30,82	43,43	57,88

Таблица 4

Зависимость $U_{пр}=f(r_0/R_ч)$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_0/R_ч$	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,02	0,04
$U_{пр}$, В	114,07	114,04	113,78	113,47	112,85	111,62
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_0/R_ч$	0,002	0,004	0,01	0,02	0,04	0,1
$U_{пр}$, В	92,51	92,41	92,10	91,59	90,60	87,74
Система заземления <i>TT</i>						
$r_0/R_ч$	0,002	0,004	0,01	0,02	0,04	0,1
$U_{пр}$, В	95,62	95,51	95,20	94,67	93,64	90,69



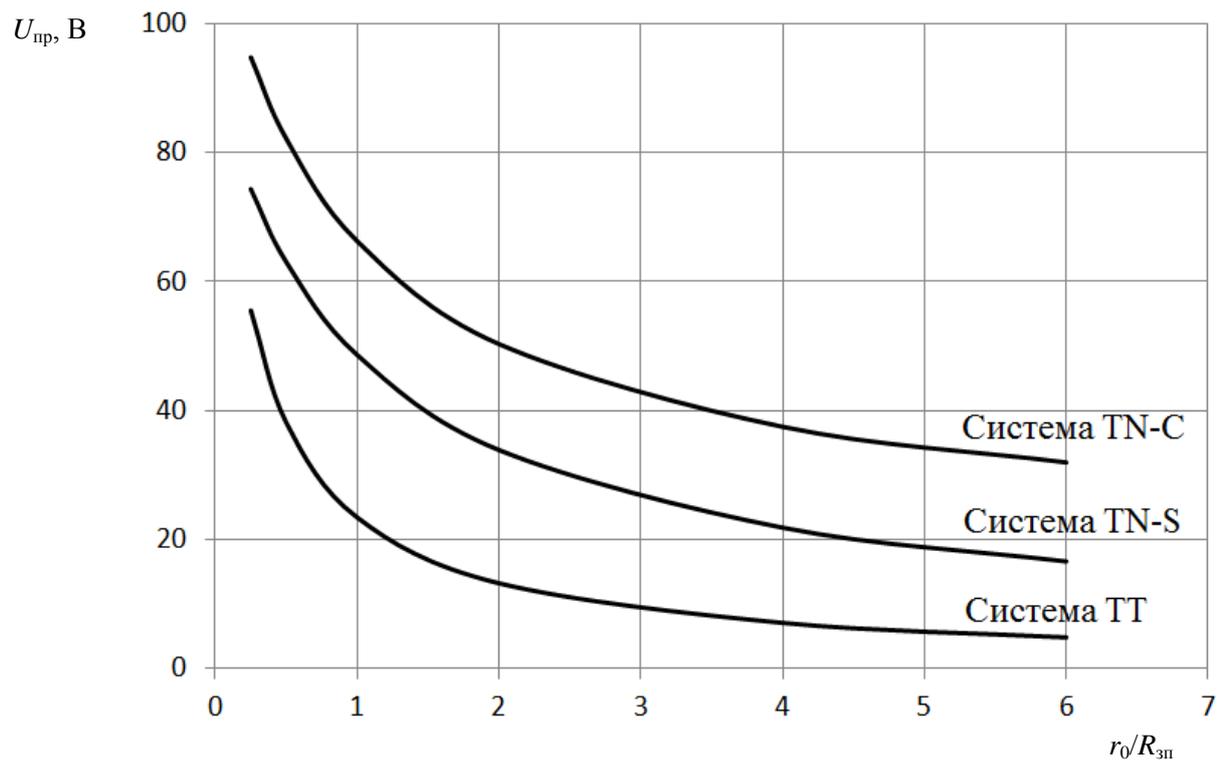


Рис. 3. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{зп}$

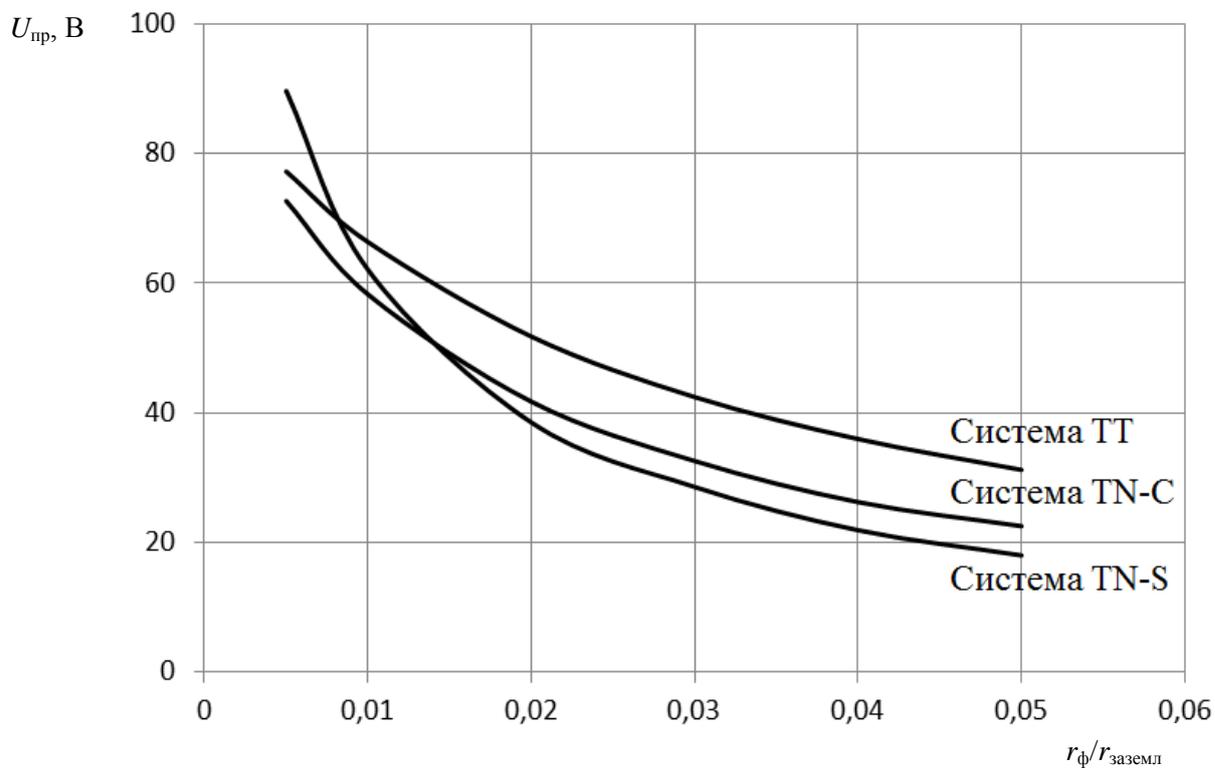


Рис. 4. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения сопротивлений цепи фазного проводника и цепи заземления

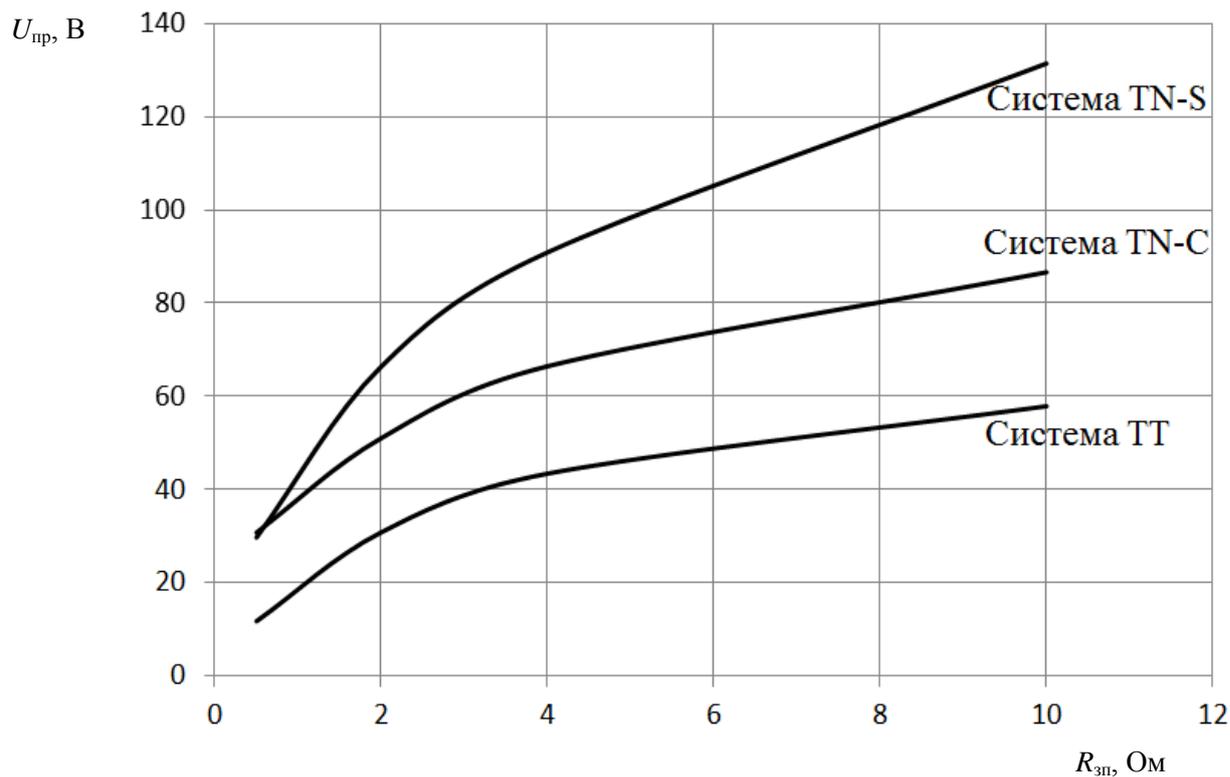


Рис. 5. Зависимость напряжения прикосновения от сопротивления повторного заземлителя

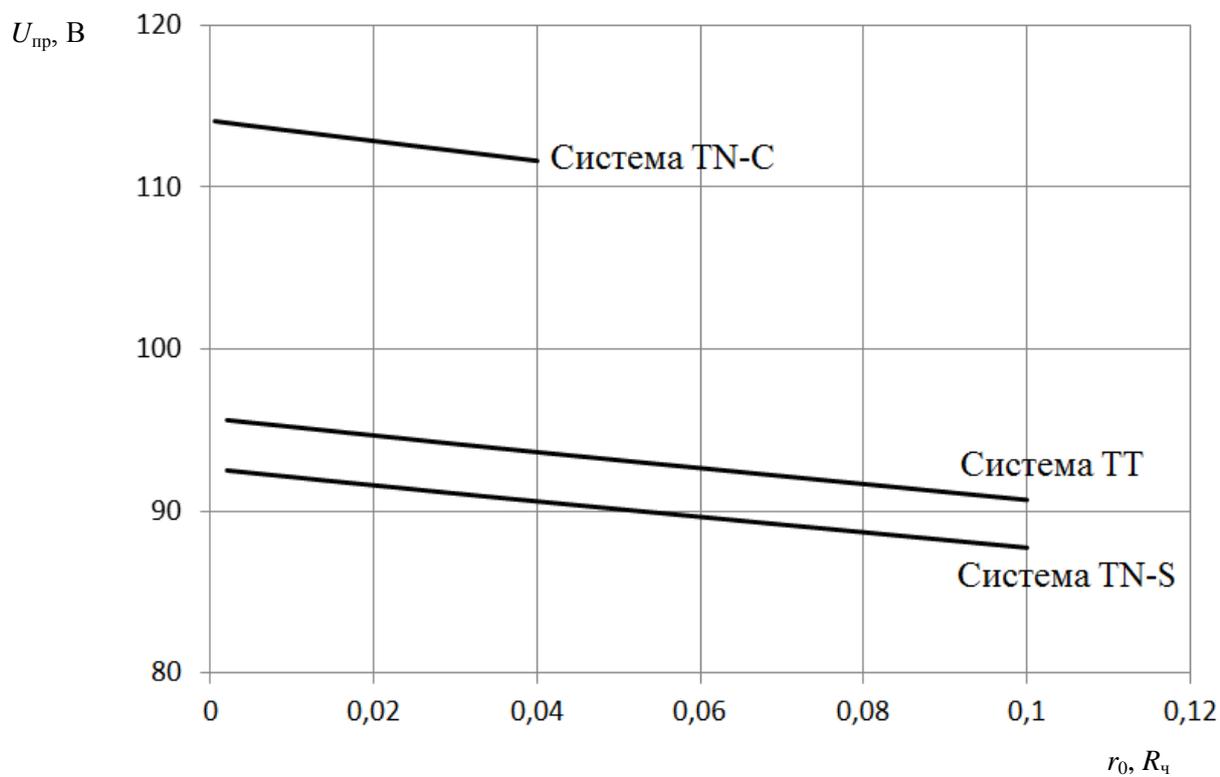


Рис. 6. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{ч}$

При анализе данных табл. 1–4 и рис. 3–6 можно сделать вывод, что наиболее безопасной является электрическая сеть с системой заземления *TN-S*. В некоторых случаях более безопасной является система *TT*, но согласно п. 1.7.59 ПУЭ (7-е издание) [1] питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система *TT*), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе *TN* не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие

$$R_a \cdot I_a \leq 50 \text{ В,}$$

где I_a – ток срабатывания защитного устройства; R_a – суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников – заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника.

В электрических сетях промышленных предприятий поражения электрическим током в большинстве случаев возникают в момент повреждения изоляции [3], т. е. при переходном режиме. Вследствие чего выполним анализ величины напряжения прикосновения в электрических сетях напряжением до 1 кВ с разными системами заземления при данном режиме. Параметры напряжения прикосновения в электрических сетях с системами заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT* приведены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры напряжения прикосновения при переходном режиме

Система заземления <i>TN-C</i>	
Параметры	Значения
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$88,77 \cdot \sin(\omega t + 91,8^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$90,84 \cdot e^{-1165t} - 2,11 \cdot e^{-50190t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$88,77 \cdot \sin(\omega t + 91,8^\circ) + 90,84 \cdot e^{-1165t} - 2,11 \cdot e^{-50190t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 88,73 \text{ В}$
Система заземления <i>TN-S</i>	
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$73,226 \cdot \sin(\omega t + 88,05^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$73,195 \cdot e^{-1262t} - 0,0153 \cdot e^{-6022765t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$73,226 \cdot \sin(\omega t + 88,05^\circ) + 73,195 \cdot e^{-1262t} - 0,0153 \cdot e^{-6022765t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 73,18 \text{ В}$
Система заземления <i>TT</i>	
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$113,96 \cdot \sin(\omega t + 62,6^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$101,19 \cdot e^{-1218t} - 0,0063 \cdot e^{-19469426t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$113,96 \cdot \sin(\omega t + 62,6^\circ) + 101,19 \cdot e^{-1218t} - 0,0063 \cdot e^{-19469426t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 101,18 \text{ В}$



Заключение

1. Рассмотренные системы не обеспечивают надлежащую электробезопасность. Напряжение прикосновения данных сетей превышает 50 В.

2. Для повышения электробезопасности в данных сетях дополнительно следует применить и другие меры защиты от поражения электрическим током: уравнивание потенциалов и автоматическое отключение питания.

3. Анализ данных табл. 5 позволяет сделать вывод, что из рассмотренных систем заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT* более безопасной является система *TN-S*.

Библиографический список

1. *Правила устройства электроустановок. 7-е издание.* – М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.
 2. *Электрификация горного производства: Учеб. для вузов: В 2 т. / Под ред. Л.А. Пучкова и Г.Г. Пивняка.* – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 1105 с.
 3. Манойлов В.Е. *Основы электробезопасности.* – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
 4. Долин П.А. *Основы техники безопасности в электроустановках.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
 5. Rappaport, E. Does grounding make a system safe?: analyzing the factors that contribute to electrical safety. *IEEE Industry Applications Magazine.* Volume 21, Issue 3, 1 May 2015, Article number 7047742, pp. 48-57.
 6. Freshi, F., Mitolo, M., Tommasini, R. Electrical model of building structures under ground-fault conditions. Part I. *IEEE Transactions on Industry Applications.* Volume 2015, 2015, Article number 07283608.

7. Barrett, M., O'Connell, K., Sung, C. Electrical safety and touch voltage design. *Building Services Engineering Research and Technology.* Volume 31, Issue 4, November 2010, pp. 325-340.
 8. Oslon, A.B., Kostruba, S.I. A model of the grounding device of an electrical installations in nonuniform ground. *Elektrichestvo.* Issue 1, 2005, pp. 15-18.
 9. Yong, J., Li, L., Wang, X., Zeng, L., Xu, X. Theoretical analysis on the protections properties against electric shock of low voltage DC distribution system with different grounding types. *Chongqing Daxue Xuebao/Journal of Chongqing University.* Volume 36, Issue 11, November 2013, pp. 21-26.
 10. Parise, G., Mitolo, M. A novel approach to the electrical safety of low-voltage installations: The TN-Island grounding system. *European Transactions on Electrical Power.* Volume 22, Issue 5, July 2012, pp. 616-626.
 11. Федеральный закон № 116-ФЗ от 15.03.2013 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», 2013.
 12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработки твердых полезных ископаемых», 2014.
 13. Петров Г.М., Кутепов А.Г., Саркисян Р.М. *Анализ заземляющей системы в электрической сети с глухозаземленной нейтралью источника питания // Горный информационный аналитический бюллетень.* – 2012. – № 6. – С. 270–275.
 14. Кутепов А.Г., Петров Г.М. *Исследование заземляющей сети машин и оборудования горной промышленности // Научный вестник МГГУ.* – № 5. – 2012. – С. 50-58.
 15. Петров Г.М., Кутепов А.Г. Анализ системы заземления TN при эксплуатации электрических сетей обогатительных фабрик // *Горный информационный аналитический бюллетень.* – 2015. – № 6. – С. 272-281.
 16. Найфельд М.Р. *Заземление, защитные меры электробезопасности.* – М.: Энергия, 1971. – 312 с.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 40-47

Title:	Analysis of electrical safety conditions in system TN
Author 1	Name&Surname: Alexander V. Lyahomsky Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 119049, Moscow, Leninsky Prospect, 6, office 331 Scientific Degree: Doctor of Technical Sciences Work Position: Head of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: mggu.eegp@mail.ru



Author 2	Name&Surname: Gennady M. Petrov Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 115408, Moscow, Borisov ponds st., 48, k. 1, Apt. 158 Scientific Degree: Candidate of Technical Sciences Work Position: Professor of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: petrovgm@mail.ru.
Author 3	Name&Surname: Anton G. Kutepov Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 117312, Moscow, Prospekt 60-letiya Oktyabrya st., 11, Apt. 717 Work Position: Senior Lecturer of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: antkut@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-40-47
Abstract:	Examined various cases of human touch to emergency equipment in the mains voltage up to 1 kV at different types of grounding system TN. In analyzing the various cases derived the analytical contact voltage relations depending on various parameters of the electrical network. For different cases of human touch in the TN system are reviewed transitional processes.
Keywords:	electrical safety conditions, short circuit, electrical network with insulated neutral, electric network with earthed neutral, grounding systems, transitional process.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pravila ustroystva elektroustanovok. Sed'moye izdaniye [<i>Rules for Electrical Installations. Seventh Edition</i>]. – M.: ZAO "Energoservis", 2002. 2. Elektrifikatsiya gornogo proizvodstva: Uchebnik dlya vuzov: V 2 t. [<i>Electrification of mining: A Textbook for universities: In 2 t.</i>] / Ed. Puchkov L. A. and Pivnyak G. G. – M.: Publishing house of the Moscow State Mining University, 2007. – 1105 p. 3. Manoylov V.E. Osnovy elektrobezopasnosti [<i>Fundamentals of electrical safety</i>]. – L.: Energoatomizdat, 1991. – 480 p. 4. Dolin P.A. Osnovy tekhniki bezopasnosti v elektroustanovkakh [<i>Basics of safety in electrical installations</i>]. - M.: Energoatomizdat, 1984. - 448 p. 5. Rappaport, E. Does grounding make a system safe?: analyzing the factors that contribute to electrical safety. IEEE Industry Applications Magazine. Volume 21, Issue 3, 1 May 2015, Article number 7047742, pp. 48-57. 6. Freshi, F., Mitolo, M., Tommasini, R. Electrical model of building structures under ground-fault conditions. Part I. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 2015, 2015, Article number 07283608. 7. Barrett, M., O'Connell, K., Sung, C. Electrical safety and touch voltage de-sign. Building Services Engineering Research and Technology. Volume 31, Issue 4, November 2010, pp. 325-340. 8. Oslon, A.B., Kostruba, S.I. A model of the grounding device of an electrical installations in nonuniform ground. Elektrichestvo. Issue 1, 2005, pp. 15-18. 9. Yong, J., Li, L., Wang, X., Zeng, L., Xu, X. Theoretical analysis on the protections properties against electric shock of low voltage DC distribution system with different grounding types. Chongqing Daxue Xuebao/Journal of Chongqing University. Volume 36, Issue 11, November 2013, pp. 21-26. 10. Parise, G., Mitolo, M. A novel approach to the electrical safety of low-voltage installations: The TN-Island grounding system. European Transactions on Electrical Power. Volume 22, Issue 5, July 2012, pp. 616-626. 11. Federal'nyy zakon № 116-FZ ot 15.03.2013 g. "O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"yektov" [<i>Federal Law No. 116-FZ of 03.15.2013 "On industrial safety of hazardous production facilities"</i>], 2013. 12. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopayemykh" [<i>The federal rules and regulations in the field of industrial safety "Rules of safety at mining and processing of solid minerals"</i>], 2014. 13. Petrov G.M., Kutepov A.G., Sarkisyan R.M. Analiz zazemlyayushchey sistemy v



elektricheskoy seti s glukhozazemlennoy neytral'yu istochnika pitaniya [*Analysis of the grounding system in an electric network with earthed neutral power supply*]. // Mining informational and analytical bulletin, No. 6. - M.: Publishing House "Book Mountain", 2012. pp. 270 - 275.

14. Kutepov A.G., Petrov G.M. Issledovaniye zzemlyayushchey seti mashin i oborudovaniya gornoy promyshlennosti [*Research grounding network of machines and equipment in mining*]. // Scientific Herald of Moscow State Mining University, № 5, 2012. pp. 50-58.

15. Petrov G.M., Kutepov A.G. Analiz sistemy zazemleniya TN pri ekspluatatsii elektricheskikh setey obogatitel'nykh fabric [*Analysis of the earthing system TN when operating of electric networks of processing plants*] // Mining informational and analytical bulletin, № 6. - M.: Publishing House "Book Mountain", 2015, pp. 272-281.

16. Nayfel'd M.R. Zazemleniye, zashchitnyye mery elektrobezopasnosti [*Grounding, electrical safety protective measures*]. – M.: Energia, 1971. – 312 p.

