Оригинальная статья / Original article

УДК 658.382

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-180-188>

О статистике электротравматизма

© А.И. Сидоров

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет),
г. Челябинск, Россия

Резюме: Проведен анализ многолетних собственных и литературных данных по электротравматизму и показано значение статистики для повышения электробезопасности. Обосновывается необходимость возврата на новом уровне к методическим указаниям по расследованию электропоражений. Приводятся схемы «включения» в цепь поражения электрическим током человека для электрических сетей с различным режимом нейтрали, причем дополнительно к классическим вариантам добавлены еще три новых, возможных при определенных обстоятельствах. Для каждого из новых случаев даются аналитические выражения по нахождению величины тока, протекающего через тело человека при возникновении электропоражения. Делается вывод о необходимости обеспечения проведения мониторинга электротравматизма, утверждения методических указаний по расследованию случаев поражения электрическим током, введения в практику расследования электропоражений с помощью методики определения предполагаемой величины тока, протекавшего через тело человека в момент несчастного случая.

Ключевые слова: электропоражения, схемы «включения» человека в электрическую сеть, режим нейтрали

Для цитирования: Сидоров А.И. О статистике электротравматизма. XXI век. Техносферная безопасность. 2021;6(2):180–188. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-180-188>

On the statistics on electrical injuries

© Aleksandr I. Sidorov

South Ural State University
(National Research University),
Chelyabinsk, Russia

Abstract: The analysis of long-term own and literature data on electrical injuries was carried out and the role of statistics in improving the electrical safety was described. The need for new electrocution investigation was substantiated. Schemes for connecting a person to an electric shock circuit for electrical networks with different neutral modes were presented; three new options have been added. For each new case, analytical expressions were given for finding the the current flowing through the human body when the electrocution occurs. It is necessary to monitor electrical injuries, approve guidelines for investigating electrocutions and implement the method for determining the current flowing through the human body during the accident.

Keywords: electric fences, schemes of human inclusion in the electrical network, neutral mode

For citation: Sidorov AI. On the statistics on electrical injuries. XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety. 2021;6(2):180-188. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-180-188>

ВВЕДЕНИЕ

Статистические данные по любому вопросу, в том числе и по травматизму в области охраны труда, определяют направления исследований, позволяют оценить эффективность тех или иных решений,

технических предложений и т.д. Поэтому актуальным и целесообразным представлялся анализ многолетних данных исследований по электробезопасности и поиску решений снижения факторов рисков электропоражений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Начиная с конца 1980-х гг., в области охраны труда сначала в СССР, а затем и в РФ, статистические данные внезапно стали «выглядеть» весьма пристойно. В частности, по такому показателю, как коэффициент частоты несчастных случаев, Россия более чем в 20 раз обошла, например, Германию [1].

В работе «Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах»¹ приводится динамика электротравматизма на предприятиях цветной металлургии СССР. Если взять количество электропоражений в 1980 г. за 100%, то в 1990 г. их стало в 4 раза меньше. Уже тогда процессы, приведшие к распаду СССР, сказывались и на статистике электропоражений. Их не включали в отчеты, не опасаясь за последствия. Здесь нет ничего нового, т.к. такое в Российской империи встречалось и ранее [2].

Возникает законный вопрос – так ли уж важно иметь достоверную информацию о произошедших несчастных случаях в том или ином регионе или в целом по стране? Применительно к электропоражениям целесообразность изучения физиологического действия электрического тока на организм человека на основании материалов расследования этих случаев отмечалась еще на VI Всероссийском электротехническом съезде в 1911 г. [3].

В Советском Союзе значение качественного расследования несчастных случаев, вызванных действием электрического тока, хорошо понимали. Информация о всех электропоражениях, произошедших как на производстве, так и вне его, стекалась в Главгосэнерго-

надзор при Минэнерго СССР, подвергалась тщательному изучению, в результате которого появлялись не только объемные отчеты, но и монографии, доступные научной общественности [4]. Еще раньше были введены в действие с 1 января 1978 г. «Временные методические указания по расследованию электротравм на производстве»². Недостатки этих Указаний проанализированы в работе «О расследовании электропоражений» [5]. Однако и в таком виде Указания вносили единообразие в подходы к расследованию, а главное – обязывали определять при расследовании расчетным путем возможную величину тока, приведшую к летальному исходу. Автору за 20 последних лет многократно приходилось делать техническую экспертизу по смертельным несчастным случаям. И если расследование, включая все материалы, как правило, не вызывает нареканий, то определение возможной величины тока, вызвавшего летальный исход, как когда-то требовали Указания, напрочь забыто.

На основании материалов расследования несчастных случаев, происшедших при эксплуатации электрооборудования на открытых горных работах, с учетом сведений о ряде параметров, приведенных в работах [6, 7], были определены ориентировочные значения токов, протекавших через тело человека в сети с изолированной нейтралью (таблица).

В контактных сетях все изученные поражения произошли по пути «рука–ноги», а интервал значений токов, протекавших в момент поражения, составил 258–970 мА при среднем значении 680 мА.

Приведенные результаты имеют весьма приближенный характер, однако даже они позволяют сравнить действие

¹Сидоров А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: дис. ... докт. техн. наук. Челябинск: ЧГТУ, 1993. 444 с.

²Временные методические указания по распределению электротравм на производстве // Промышленная энергетика. 1976. № 9. С. 40–46.

Расчетные значения токов для различных путей протекания в сетях переменного тока

Estimated values of currents for various AC paths

Путь тока	Кол-во случаев (изученных), %	Интервал значений токов	Среднее значение токов
		мА	
Рука–ноги	69,0	55–797	157
Голова–руки	10,3	274–657	505
Голова–ноги	10,3	188–223	215
Прочие	10,4	70–217	128

на организм человека токов различного вида (переменного и выпрямленного). Кроме того, минимальное значение поражающего тока 55 мА (время протекания установить не удалось) указывает на необходимость дальнейшего изучения предельно допустимых уровней токов и напряжений.

Для определения тока, протекающего через тело человека, и напряжения прикосновения в момент возникновения электропоражения, необходимо правильно составить схему включения человека в электрическую цепь. Наибольшие трудности вызывают случаи протекания тока через тело человека по пути «рука–ноги».

Случаи включения в электрическую цепь, когда ток протекает через тело человека по пути «рука–рука», для составления схем включения, как правило, не вызывают затруднений, поскольку человек «включается» либо на линейное, либо на фазное напряжения.

Схемы «включения» человека в электрическую цепь в сети с глухозаземленной нейтралью

На рис. 1 представлено 5 вариантов включения человека в электрическую цепь для указанной сети.

Отметим, что элементы того или иного варианта обозначены следующим образом: (1; 2; 3; 4; 5). Обозначения других элементов или токов будут раскрыты при рассмотрении соответствующих вариантов.

Рис. 1. Возможные варианты включения в электрическую цепь в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью

Fig. 1. Possible options for the electrical circuit in a network with a voltage of up to 1000 V and a solidly grounded neutral

Вариант 1. Человек касается одного из фазных проводов (открытые проводящие части – ОПЧ), подводящих электроэнергию к электроприёмнику Э. Ток в этом случае будет протекать через его тело с сопротивлением R_h и заземлением нейтрали (обозначено r_0). Этот вариант подробно исследован в классической литературе по электробезопасности, например в работах³ [8–10].

Величина тока, протекающего через тело человека, будет определяться фазным напряжением (U_ϕ), собственным сопротивлением тела человека (R_h), сопро-

³Сидоров А.И. Основы электробезопасности: учеб. пособие. Челябинск: Изд-во Южно-Уральского государственного университета, 2001. 343 с.

тивлением заземления нейтрали (r_0), изолирующими сопротивлениями обуви ($r_{об}$) и пола (r_n) (на рис. 1 (3) не обозначены).

Вариант 2. Прикосновение человека к ОПЧ (например, к фазе А) и замыкание другой фазы (в нашем случае фазы В) на землю. Как и в первом варианте, этот случай достаточно подробно исследован³ [8–10]. Напряжение, приложенное к телу человека, будет зависеть от смещения нуля в трёхфазной системе, которое определяется соотношением сопротивлений заземления нейтрали (r_0) и замыкания фазы на землю ($R_{зм}$). Следовательно, ток, протекающий через тело человека, будет зависеть от его собственного сопротивления (R_h) и наличия изолирующих сопротивлений обуви ($r_{об}$) и пола (r_n).

Вариант 3. В литературе этот случай практически не рассматривается. Связано это с тем, что при замыкании любой из фаз на корпус занулённого электроприёмника (Э) должно произойти его отключение либо автоматическим выключателем, либо предохранителем (его перегоранием).

Электроопасная ситуация возникнет при следующих условиях: замыкание фазы на корпус, отказ аппарата защиты в схеме зануления и прикосновение человека к корпусу электроприёмника (Э). И хотя такое событие маловероятно, необходимо определить вероятный ток, протекающий через тело человека. Здесь возможны варианты.

1. Цепь зануления исправна. Корпус электроприёмника (Э) не имеет связи с землей. В этом случае потенциал на корпусе электроприёмника (Э) будет определяться сопротивлениями заземления нейтрали (r_0) и нулевого защитного провода от места подключения электроприёмника (Э) до нейтрали питающего трансформатора. Ток, протекающий через тело человека, – частное от деления величины потенциала на сумму сопротивлений R_h , $r_{об}$ и r_n .

2. В цепи зануления имеется обрыв. Если корпус электроприёмника (Э) от земли изолирован, то человек «включается» на фазное напряжение, а ток, протекающий через его тело, опять определяется сопротивлениями R_h , $r_{об}$ и r_n .

Если корпус электроприёмника имеет связь с землей (на рис. 1 – сопротивление $r_{сз}$), то потенциал на его корпусе будет зависеть от величины $r_{сз}$, а ток, протекающий через тело человека, снова определяется величинами R_h , $r_{об}$ и r_n .

Вариант 4. В этом случае в электрической сети нет никаких повреждений, а по нулевому проводу (НЗП) течет ток ($I_{нс}$), обусловленный несимметрией нагрузки по фазам сети. В ряде случаев величина этого тока достигает 50 % от фазного, что приводит к появлению на корпусе электроприёмника (Э), подключенного к нулевому защитному проводу (НЗП), потенциала, величина которого зависит от места нахождения электроприёмника (Э). Необходимо отметить, что и на самом нулевом защитном проводе при протекании тока несимметрии ($I_{нс}$) появляется потенциал, максимальный в конце линии и постепенно уменьшающийся по мере приближения к нейтрали источника питания.

Вариант 5. В сети одна из фаз (на рис. 1 – фаза А) замкнула на землю через некоторое сопротивление замыкания ($R_{зм}$). Величина тока однофазного замыкания на землю ($I_{зам}$) будет определяться суммой сопротивлений $R_{зам}$ и r_0 . Вокруг места замыкания возникнет поле растекания тока и появится возможность попасть под напряжение шага, величина которого будет определяться, в основном, удельным сопротивлением грунта в месте замыкания, площадью соприкосновения с грунтом замкнувшего проводника, удалением человека от места замыкания.

Схемы включения человека в электрическую цепь в сети с изолированной нейтралью

На рис. 2 представлено пять вариантов возникновения электрической цепи, в которую «включен» человек.

Рис. 2. Возможные варианты возникновения электрической цепи через тело человека в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В

Fig. 2. Possible options of the current flowing through the human body in a network with an isolated neutral voltage of up to 1000 V

Рассмотрим приведенные на рис. 2 варианты и оценим влияние тех или иных факторов на величину тока, протекающего через тело человека.

Вариант 1. В этом случае ток, протекающий через тело человека, определяется параметрами изоляции фаз сети относительно земли ($R_{иC}$), собственным сопротивлением тела (R_h), изолирующими сопротивлениями обуви ($r_{об}$) и пола (r_n). С учетом перечисленных сопротивлений ток, протекающий через тело человека, может составлять доли мА.

Вариант 2. Этот и предыдущий варианты подробно исследованы в классической литературе по проблемам электробезопасности³ [8–10].

Вариант 3. Человек касается корпуса электроприёмника (Э), а в это время или несколько ранее одна из фаз (на рис. 2 – это фаза C) замыкает на корпус элек-

троприёмника. Корпус оказывается под напряжением, а потенциал корпуса относительно земли будет равен произведению тока однофазного замыкания на сопротивление заземляющего устройства (на рис. 2 $R_{ззз}$).

Приложенное к телу человека напряжение (напряжение прикосновения) приведет к протеканию через это тело тока, величина которого будет зависеть от R_h , $r_{об}$ и r_n .

Вариант 4. Кроме прикосновения человека к корпусу электроприёмника (Э) и замыкания фазы на этот корпус в сети произошло замыкание другой фазы на землю (на рис. 2 – это фаза B).

В этом случае ток замыкания резко возрастает, потенциал на корпусе электроприёмника (Э) увеличивается и, соответственно, увеличивается напряжение прикосновения. Его величина будет определяться сопротивлением заземляющего устройства ($R_{ззз}$), то ток же, протекающий через тело человека, будет зависеть не только от величины напряжения прикосновения, но и от собственного сопротивления тела (R_h), изолирующих сопротивлений обуви ($r_{об}$) и пола (r_n).

Вариант 5. Непрерывность заземляющих проводников, связывающих корпус электроприёмника (Э) с заземлителем, может быть нарушена по тем или иным причинам. В этом случае замыкание фазы сети на землю (на рис. 2 – фаза B), при условии замыкания другой фазы на корпус электроприёмника (Э) и прикосновении человека к этому корпусу, – условия электробезопасности будут определяться сопротивлением самозаземления ($R_{с33}$) корпуса электроприёмника (Э). Это сопротивление ($R_{с33}$) определяется, в основном, двумя параметрами: площадью соприкосновения корпуса электроприёмника (Э) с проводящим основанием и его удельным сопротивлением [11].

Рассмотрев возможные схемы «под-

ключения» человека к элементам электрической сети, приведем аналитические выражения для величины тока, протекавшего в момент электропоражения.

Аналитическое определение величины тока электропоражения проведено последовательно для сети с глухозаземленной нейтралью, а затем – с изолированной по вариантам, рассмотренным выше. Обозначать будем следующим образом: вариант с указанием режима нейтрали: ГЗН – заземлённый; ИНЗ – изолированный. Приводимые в аналитических выражениях обозначения соответствуют принятым на схемах либо рис. 1, либо рис. 2.

ГЗН. Вариант 1. Ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0 + r_{об} + r_\Pi}. \quad (1)$$

В следующем разделе приводятся либо значения (диапазон значений) того или иного параметра, либо формулы для его расчета.

ГЗН. Вариант 2. Для случая, показанного на рис. 1, ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле

$$I_h = U_\phi g_h \frac{g_{3M}(1-a^2) + g_0}{g_h + g_{3M} + g_0}, \quad (2)$$

где g_h – проводимость тела человека,

$g_h = \frac{1}{R_h}$; g_{3M} – проводимость замыкания,

$g_{3M} = \frac{1}{R_{3M}}$; g_0 – проводимость нейтрали,

$g_0 = \frac{1}{r_0}$; a – поворотный множитель, учитывающий угол сдвига между фазными напряжениями.

С точки зрения оценки электробезопасности направление вектора тока I_h не имеет значения. Поскольку $1-a^2$ по модулю $|1-a^2|$ равно (как и $|1-a|$) $\sqrt{3}$, выражение (2) в действительной форме можно записать следующим образом:

$$I_h = U_\phi g_h \frac{\sqrt{3}g_{3M} + g_0}{g_h + g_{3M} + g_0}. \quad (3)$$

ГЗН. Вариант 3. Первый случай. Замыкание фазы на корпус и отказ аппарата защиты в схеме зануления.

В этом случае ток, протекающий через тело человека, будет равен

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_{об} + r_\Pi + r_0 + r_{НЗП}}, \quad (4)$$

где $r_{НЗП}$ – сопротивление нулевого защитного провода от нулевой точки до места подключения к нулевому защитному проводу электроприёмника (Э).

При наличии же обрыва в цепи зануления будут иметь место два подварианта (см. рис. 1).

В первом подварианте ток, протекающий через тело человека, будет равен

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0 + r_{об} + r_\Pi}. \quad (5)$$

Во втором подварианте этот ток определится следующим выражением:

$$I_h = \frac{U_\phi (R_{h3} + r_{c3})}{R_{h3} \cdot r_{c3}}, \quad (6)$$

где $R_{h3} = R_h + r_{об} + r_\Pi$.

ГЗН. Вариант 4. В этом случае возможный ток, протекающий через тело человека, будет определяться по следующему выражению:

$$I_h = \frac{I_{нс} \cdot r_{нзп}}{R_h + r_{об} + r_{п}}. \quad (7)$$

$$R_A \neq R_B \neq R_C \text{ и } C_A \neq C_B \neq C_C,$$

Вариант 5. Ток замыкания в этом случае будет равен

$$I_{зам} = \frac{U_{\phi}}{r_0 + R_{зм}}. \quad (8)$$

Как было указано ранее, $R_{зм}$ зависит от удельного сопротивления грунта (ρ) в месте замыкания и площади контакта замкнувшей проводящей части с грунтом.

Если это замыкание будет обусловлено падением фазного провода на землю, то $R_{зм}$ будет равно [12]

$$R_{зм} = 0,3\rho. \quad (9)$$

Напряжение шага – разность потенциалов двух точек, лежащих в поле растекания тока, на которых одновременно стоит человек, т.е. напряжение шага ($U_{ш}$) равняется

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a}, \quad (10)$$

где a – ширина шага, принимаемая равной 1 м.

Потенциал в искомой точке определяется по формуле

$$\varphi_x = \frac{I_{зам} \cdot \rho}{2\pi l} \ln \frac{x+l}{x}, \quad (11)$$

где φ_x – потенциал в искомой точке; l – длина оборванного провода, лежащего на грунте; x – расстояние от торца проводника до искомой точки.

ИЗН. Вариант 1. В этом случае при несимметрии сопротивлений изоляции фаз сети относительно земли:

ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле

$$I_h = U_{\phi} Y_h \frac{Y_B(1-a^2) + Y_C(1-a)}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_n}, \quad (12)$$

где $Y_{A,B,C}$ – полные проводимости изоляции фаз сети относительно земли.

Учитывая сложность определения параметров изоляции фаз сети относительно земли, ток, протекающий через тело человека, без ущерба для точности решения можно определить по формуле [8]

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{\left[R_h + \frac{dU_{\phi}}{(1+d^2)I_c} \right]^2 + \left[\frac{U_{\phi}}{(1+d^2)I_c} \right]^2}}, \quad (13)$$

где d – коэффициент успокоения сети,

$$d = \frac{1}{\omega R_{\phi} C_{\phi}}; \quad \omega - \text{угловая частота,}$$

$\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$; I_c – ёмкостный ток однофазного замыкания на землю, $I_c = U_{\phi} \cdot 3\omega C_{\phi}$; R_{ϕ} – активное сопротивление изоляции фазы сети относительно земли; C_{ϕ} – ёмкость изоляции фазы сети относительно земли.

ИЗН. Вариант 2. В этом случае ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_{\phi} \sqrt{3}}{R_h + r_{об} + r_{п}}. \quad (14)$$

ИЗН. Вариант 3. Для этого варианта ток, протекающий через тело человека, может быть найден по формуле

$$I_h = \frac{I_c \cdot R_{\text{заз}}}{R_h + r_{\text{об}} + r_{\text{п}}}. \quad (15)$$

ИЗН. Вариант 4. Здесь ток, протекающий через тело человека, будет определяться выражением

$$I_h = \frac{U_{\phi} \cdot \sqrt{3} \cdot R_{\text{заз}}}{(R_{\text{зам}} + R_{\text{сз}})(R_h + r_{\text{об}} + r_{\text{п}})}. \quad (16)$$

ИЗН. Вариант 5. Как было сказано выше, условия электробезопасности будут определяться величиной сопротивления самозаземления ($R_{\text{сз}}$) корпуса электроприёмника (Э).

Ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_{\phi} \cdot \sqrt{3} \cdot R_{\text{сз}}}{(R_{\text{зам}} + R_{\text{сз}})(R_h + r_{\text{об}} + r_{\text{п}})}. \quad (17)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, из рассмотренных результатов на основе статистических данных по электротравматизму, можно сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения качества расследования, достоверности статистики электротравматизма в структуре Минэнерго РФ необходимо восстановить Управление Госэнергонадзора.

2. Ввести переработанные и дополненные Методические указания по расследованию случаев поражения электрическим током как в различных отраслях экономики, так и в быту, используя представленные в статье положения.

3. Ввести в практику расследования электропоражений представленную в статье методику определения предполагаемой величины тока, протекавшего через тело человека в момент несчастного случая.

Список литературы

1. Малаяя К.Р., Фаустов С.А. К вопросу о статистике производственного травматизма // Безопасность жизнедеятельности. 2020. № 8. С. 3–8.
2. Русак О.Н., Цветкова А.Д. О регистрации, расследовании и учете несчастных случаев // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1 (145). С. 6–12.
3. Шاپирер П.И. О деятельности VI Всероссийского электротехнического съезда // Горный журнал. 1911. Т. 2. № 6. С. 252–261.
4. Гордон Г.Ю., Вайнштейн Л.И. Электротравматизм и его предупреждение. М.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
5. Щуцкий В. И., Сидоров А.И., Ситчихин Ю.В. О расследовании электропоражений // Промышленная энергетика. 1977. № 12. С. 31–32.
6. Гладилин Л.В., Щуцкий В.И., Бацеев Ю.Г., Чеботаев Н.И. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. М.: Недра, 1977. 327 с.
7. Щуцкий В.И., Маврицын А.М., Сидоров А.И., Ситчихин Ю.В. Электробезопасность на открытых горных работах. М.: Недра, 1983. 192 с.
8. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергия, 1979. 408 с.
9. Князевский Б.А., Марусова Т.П., Чекалин Н.А., Шипунов Н.В. Охрана труда в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.
10. Никольский О.К. Системы обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве. Барнаул: Алтайское книжное изд-во, 1977. 192 с.
11. Сидоров А.И., Саъдуллозода Ш.С. Обоснование параметров заземления нейтрали и повторных заземлений в системе зануления. Душанбе: Промэкспо, 2019. 124 с.
12. Щуцкий В.И., Сидоров А.И. Методика определения поражающего тока при расследовании электропоражений // Известия вузов СССР. Серия: Энергетика. 1991. № 12. С. 50–53.

References

1. Malajan KR, Faustov SA. On the issue of occupational injures statistics. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti*. 2020;8:3–8. (In Russ.).
2. Rusak ON, Tsvetkova AD. Registratron, investigation and calculation of accident. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti*. 2013;1:6–12. (In Russ.).
3. Shapirer PI. On the activities of the VI All-Russian electrotechnical congress. *Gornyi zhurnal*. 1911;2(6):252–261. (In Russ.).
4. Gordon GYu, Weinstein LI. Electrotraumatism

and its prevention. Moscow: Energoatomizdat; 1986. 256 p. (In Russ.).

5. Shchutsky VI, Sidorov AI, Sitchikhin YuV. On the investigation of electric shocks. *Promyshlennaya energetika*. 1977;12:31–32. (In Russ.).

6. Gladilin LV, Shchutsky VI, Batsezhev YuG, Chebotaev NI. Electrical safety in the mining industry. Moscow: Nedra; 1977. 327 p. (In Russ.).

7. Shchutsky VI, Mavritsyn AM, Sidorov AI, Sitchikhin YuV. Electrical safety in open mining operations. Moscow: Nedra; 1983. 192 p. (In Russ.).

8. Dolin PA. Fundamentals of safety engineering in electrical installations. Moscow: Energiya; 1979. 408 p. (In Russ.).

9. Knyazevsky BA, Marusova TP, Chekalin NA,

Shipunov NV. Labor protection in electrical installations. Moscow: Energoatomizdat; 1983. 336 p. (In Russ.).

10. Nikolsky OK. Systems for ensuring electrical safety in agriculture. Barnaul: Altaiskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1977. 192 p. (In Russ.).

11. Sidorov AI, Sadullozoda ShS. Justification of the parameters of neutral grounding and re-grounding in the zeroing system. Dushanbe: Promexpo; 2019. 124 p. (In Russ.).

12. Shchutsky VI, Sidorov AI. Methodology for determining the damaging current in the investigation of electric shocks. *Izvestiya vuzov SSSR. Series: Power Engineering*. 1991;12:50–53. (In Russ.).

Сведения об авторе

Сидоров Александр Иванович,

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой безопасности
жизнедеятельности,
Южно-Уральский государственный
университет (национальный
исследовательский университет),
454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, Россия,
✉ e-mail: sidorovai@susu.ru

Information about the author

Aleksandr I. Sidorov

Doctor Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of life activity safety,
South Ural State University
(National Research University),
76 Lenin av., Chelyabinsk 454080, Russia,
✉ e-mail: sidorovai@susu.ru

Заявленный вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Contribution of the author

The author carried out research work, based on
the results obtained, she generalized, prepared
the manuscript for publication.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

*Автор прочитал и одобрил
окончательный вариант рукописи.*

*Author have read and approved the final manu-
script.*

*Поступила в редакцию 02.04.2021.
Одобрена после рецензирования 17.05.2021.
Принята к публикации 01.06.2021.*

*The article was submitted 02.04.2021.
Approved after reviewing 17.05.2021.
Accepted for publication 01.06.2021.*