

УДК 658.382.3.631.1

**Методы оценки многокомпонентного ущерба в аварийных режимах
электроустановок на сельскохозяйственных объектах***Еремина Т.В., Плишкина О.В.**Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления***Аннотация**

В статье дана характеристика интегрального риска опасной ситуации при взаимодействии компонентов системы «человек-электроустановка-среда» и последствий – аварий, пожаров и электротравматизма людей с воздействием электромагнитного поля, негативного влияющего на здоровье человека и представляющего опасность загрязнения окружающей среды. Приведена оценка риска опасной техногенной ситуации с учетом всех видов происшествий и издержек, совместимая с оценкой ущерба, зависящего от множества факторов. Отмечено, что интегральный риск, являясь показателем потенциальной опасности, учитывает социально-экономический, технологический и экологический ущерб, заключающийся в потерях физических, материальных, определяемых авариями в электроустановках, электрооборудовании и электрических сетях с нанесением урона окружающей среде. Указано сочетание риска, характеризующего качественную меру опасности электроустановки, с величиной расходов или затрат ожидаемого ущерба, представляющего количественный показатель, связанный с нарушением устойчивого состояния системы «человек-электроустановка-среда», рассматриваемого как цепь взаимосвязанных негативных событий, изменяющихся в пространстве и времени. Приведены составляющие многокомпонентного ущерба, представляющего комплексный показатель последствий техногенных происшествий на объектах, с установлением связи между взаимозависимыми элементами рассматриваемой классификации видов ущербов. Дана структура многокомпонентного ущерба при возникновении аварийного режима в электроустановке, состоящего: из ущерба, нанесенного человеку с ухудшением его здоровья или смертельным исходом; из ущерба, нанесенного объектам инфраструктуры населенного пункта; из ущерба, причиненного окружающей среде. Указанные составляющие ущербов одновременно представляют социально-экономический, технологический и экологический ущерб, разграниченные на

непосредственный (прямой), непредопределенный (косвенный) и полный, без их повторения при учете, которые появляются в системе «человек-электроустановка-среда» как результат ее некачественного функционирования с отклонением от нормального. Отмечено, что для общей оценки многокомпонентного ущерба при отсутствии универсальной шкалы необходимо применить три шкалы: фактическую, с числовым выражением ущерба; экономическую, с расчетом ущерба в денежном выражении; структурную, при невозможности использования количественных значений ущерба; следует расчеты проводить с применением нормативно-технической документации и правовой базы Российской Федерации в случаях возникновения аварий, пожаров в электроустановках и электротравматизма. Дана математическая модель многокомпонентного ущерба, выраженного в векторной форме определенного состояния в системе безопасности.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА, РИСК, ИНТЕГРАЛЬНЫЙ УЩЕРБ, ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ, ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Введение

Широкое внедрение разнообразных видов электроустановок на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях связано с быстрым развитием и совершенствованием производственных процессов на объектах экономики страны. Соответственно важное социальное значение приобретает проблема создания и широкого распространения на объектах средств электрической защиты при возникновении опасных техногенных ситуаций, сопровождающихся взрывами, пожарами и электротравматизмом при работе с электроустановками.

Техногенные ситуации характеризуются возникновением таких негативных факторов электрической опасности как: пожарная и экологическая (электромагнитная). Поэтому необходимость применения мер электрической защиты определяется характером и условиями использования электроустановок во избежание опасного воздействия электрического тока на человека [1, 2]. Кроме того, при эксплуатации электроустановок не является исключением возникновение пожаров, причины которых те же самые, что и причины электротравматизма людей. При работе электроустановки может произойти повреждение изоляции токоведущих частей с возникновением пожара и электротравмы, поскольку природа их появления одна, то в некоторых случаях

одновременно. В свою очередь, электромагнитное поле представляет опасность загрязнения окружающей среды, являясь экологической составляющей, негативно отражающейся на здоровье человека [3].

Техногенную опасность представляют электроустановки зданий и сооружений, в которых имеют место отказы и аварии, сопровождающиеся перерывами электроснабжения, возникновением пожаров и электротравматизма. Поэтому формирование различных видов рисков в системе безопасности электроустановок и определение интегральной оценки техногенных происшествий рассматриваемого производственного объекта с анализом остаточного ресурса электроустановок является необходимым условием для разработки мероприятий по предотвращению отказов и аварий [4].

Возникновение риска опасности электроустановки, как правило, сопровождается возникновением потерь, проявляющихся в виде ущерба при появлении опасной ситуации. Отсюда следует, что для определения многокомпонентного риска опасности электроустановки необходимо учитывать вероятность опасных техногенных ситуаций, а также все виды происшествий и издержки, значит получить оценку полного ущерба.

Цель исследования

Анализ интегрального ущерба при нарушении техногенной безопасности системы «человек-электроустановка-среда».

Результаты анализа

В данной статье интегральный риск рассматривается как результат взаимодействия блоков системы «человек-электроустановка-среда» «Ч-ЭУ-С», приведенной на рис. 1.

При этом блок (Ч) представлен как генератор ошибочных действий, блок (ЭУ) – генератор техногенных происшествий, блок (С) – может быть генератором, усугубляющим развитие техногенного происшествия. Тогда интегральный риск, являясь показателем потенциальной опасности, будет учитывать социально-экономический, технологический и окружающей среде ущерба в едином денежном эквиваленте.

Отсюда математическую модель интегрального риска опасности электроустановки можно представить в таком виде:

$$R_{\Sigma} = R(Y_{CЭ}) + R(Y_T) + R(Y_{OC}), \quad (1)$$

где $R(Y_{CЭ}), R(Y_T), R(Y_{OC})$ – риски социально-экономического, технологического и окружающей среде ущербов ($Y_{CЭ}, Y_T, Y_{OC}$).

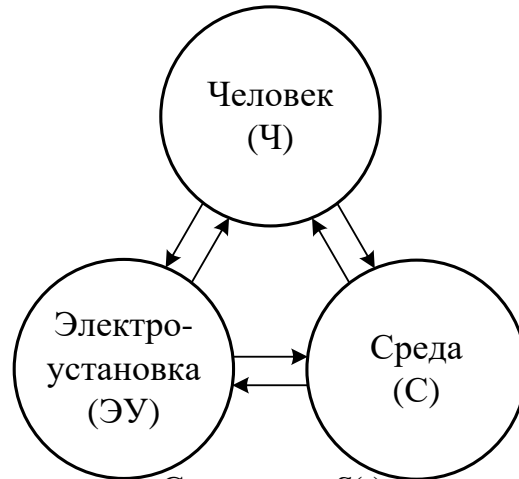


Рис. 1. Модель системы «Ч-ЭУ-С»

Таким образом, блоки системы «Ч-ЭУ-С» в совокупности являются источниками появления опасных техногенных ситуаций и следствием их проявления, в частности, таких как аварии, пожары, электротравмы, причинами которых будут ошибочные действия человека, то есть обслуживающего персонала, отказы электроустановок и негативные воздействия вредных факторов среды [5].

На основании изложенного для оценки интегрального риска опасности электроустановки следует определить вероятности опасных техногенных ситуаций с анализом и использованием всех видов расходов или затрат, а именно, в денежном выражении, заключающихся в потерях физических, материальных, нанесении урона окружающей среде. Соответственно дать оценку полного ущерба, совместимую с риском, представляющую количественную меру опасности электроустановки с происходящими опасными событиями, имеющими различные вероятности P_i и согласованные с ними ущербы Y_i .

Уравнение риска опасности электроустановки будет иметь вид:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i Y_i, \quad (2)$$

Тогда уравнение интегрального риска можно записать, так:

$$R_{\Sigma} = \int F(Y)P(Y)dY, \quad (3)$$

где $F(Y)$ – функция затрат, представляющих расходы с проявлением техногенных опасностей различного вида, выраженные единой (совместной) оценкой ущерба; $P(Y)$ –

вероятность возникновения случайной составляющей $У$ [6].

Таким образом, риск, имеющий характеристику качественной меры опасности электроустановки, можно представить величиной материального ожидания ущерба (расходов или затрат). Поэтому ущерб будет являться количественным показателем издержек на происшествия, предопределяющие нарушение устойчивого состояния системы «Ч-ЭУ-С».

В данном случае есть не что иное как цепь взаимозависимых негативных событий, изменяющихся в пространстве и времени. Учитывая вред электроустановки при аварийных режимах следует рассмотреть понятие многокомпонентного ущерба, представляющего совокупный комплексный показатель последствий техногенных происшествий объекта (в денежном выражении) [7]. Значит непосредственный ущерб появляется при авариях в электроустановке, характеризующихся ее отказом при коротких замыканиях и других ситуациях, а непредопределенный ущерб, являющийся следствием непосредственного, определяется отклонением от равновесного взаимодействия между электроустановкой и элементами (объектами) функционирующими одновременно.

Характеристику составляющих многокомпонентного ущерба можно представить таким образом:

- *ущерб социально-экономический* ($У_{сэ}$). Оценивается последствиями, связанными с гибелью людей, а также причинением травматизма, сопровождающегося потерей трудоспособности, при использовании услуг здравоохранения, социальных льгот и прочих компенсационных расходов. Исходя из сведений материалов расследования и статистических данных по травматизму, связанному с возникновением аварий в электроустановках, ежегодно происходит почти 50% чрезвычайных происшествий в разного вида зданиях и сооружениях, в том числе помещениях жилищно-коммунального хозяйства, с большой долей негативного проявления в частном секторе [8]. Данный вид ущерба учитывает последствия воздействия на организм человека электромагнитного поля электроустановок и питающих сетей, особенно высокого напряжения, которое «чревато» сказывается на состоянии здоровья по причине экологического загрязнения окружающей среды;

- *ущерб технологический* ($У_{т}$). Такого характера ущерб определяется при возникновении аварийных режимов в электроустановках, их выходом из рабочего

состояния в различных производственных и непроизводственных помещениях, строениях, сооружениях, что приводит к браку выпускаемой продукции или ее недоотпуску и другим негативным проявлениям и, как правило, возникновению убытков из-за перерывов электроснабжения промышленных предприятий, организаций и других. Последствия технологического ущерба оказывают негативное влияние, вызывая снижение эффективной деятельности предприятий и энергетического комплекса объектов, с нарушением целостности производственных и непроизводственных фондов;

- *ущерб окружающей среде (У_{ос})*. Данный ущерб является следствием возникновения аварийных режимов в электроустановках, которые приводят к взрывам и пожарам, а также к опасным электромагнитным излучениям в электрических сетях, что приводит к ухудшению экологической обстановки, характеризующейся состоянием природных ресурсов и в целом состоянием окружающей среды.

Приведенное описание составляющих многокомпонентного ущерба носит весьма условный и изменяющийся во времени характер. Поэтому следует обратить внимание на многогранность техногенного ущерба для установления связи между взаимозависимыми элементами рассматриваемой классификации видов ущерба. В связи с этим требуется выполнять учет возможности, а именно, вероятности появления аварийных режимов в электроустановках, приводящих к пожарам и электротравмам среди людей и учитывать издержки и потери, являющиеся следствием происшествий, а именно, опасных событий.

На рис. 2 приведена структура многокомпонентного ущерба в системе «человек-электроустановка-среда».

Следует отметить, что имеет место ухудшение безопасности жизнедеятельности человека при возникновении аварийных режимов в электроустановках, сопровождающихся взрывами, пожарами, проявляющихся как «деструктивные» воздействия в системе «Ч-ЭУ-С». В результате происходят изменения и отклонения от эффективного функционирования предприятий и других объектов и окружающей среды, определяющиеся нарушением их нормального состояния и гармоничной целостности. Соответственно появляется необходимость отдельного рассмотрения последствий от техногенных ситуаций, представляющих неэкономическую составляющую, а также ущерба, который будет количественной мерой, т.е. экономической составляющей. В связи с этим, возникающие техногенные ситуации характеризуются ущербом, представляющим оцененные последствия [9].

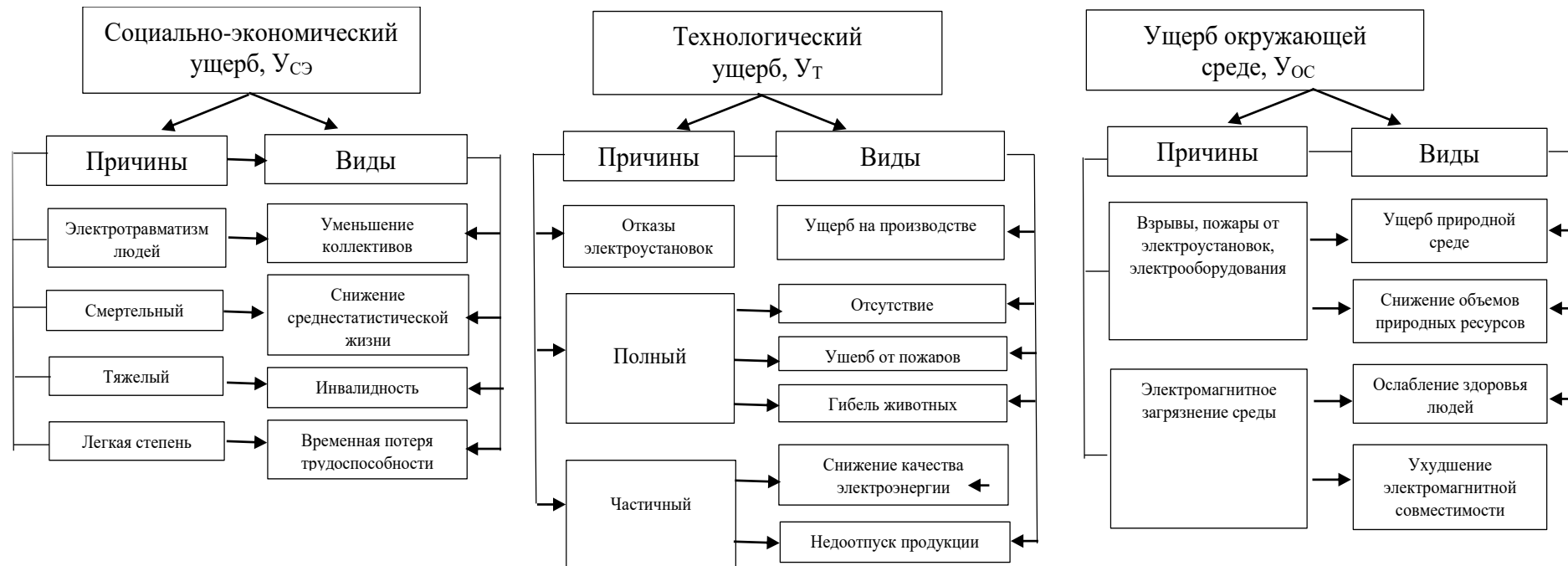


Рис. 2. Структура многокомпонентного ущерба в системе «человек-электроустановка-среда»

Исходя из вышеизложенного, многокомпонентный ущерб U_{Σ} при возникновении опасных событий в аварийных ситуациях эксплуатации электроустановок в инфраструктуре населённого пункта, будет представлять сумму следующих составляющих:

$$U_{\Sigma} = U_{ч} + U_{ОИ} + U_{ОС}, \quad (4)$$

где $U_{ч}$ – ущерб, нанесенный человеку, вызывающий определенные изменения или ослабление его здоровья, а также смертельный исход; $U_{ОИ}$ – ущерб, нанесенный предприятиям, организациям и другим объектам инфраструктуры, в том числе энергетическому комплексу; $U_{ОС}$ – ущерб, причиненный окружающей среде, сопровождающийся ухудшением парциального состава воздуха, оказывающего негативное воздействие на человека, животных и растения.

В полученном уравнении (4) составляющие многокомпонентного ущерба $U_{ч}$, $U_{ОИ}$, $U_{ОС}$ одновременно представляют ущербы социально-экономический, технологический, окружающей среде, которые появляются в системе «человек-электроустановка-среда». Отсюда следует, что последствия опасных техногенных ситуаций заключаются в пагубном воздействии на работу системы, приводящие к некачественному ее функционированию [10].

В работе развит метод определения многокомпонентного ущерба в системе безопасности электроустановок с составляющими, имеющими свою специфическую структуру и содержание. Руководствуясь приведенной выше классификацией описываемые ущербы можно разграничить следующим образом:

$$\text{Непосредственный} - U_{Н} = U'_{ч} + U'_{ОИ} + U'_{ОС}, \quad (5)$$

$$\text{Непредопределённый} - U_{НП} = U''_{ч} + U''_{ОИ} + U''_{ОС}, \quad (6)$$

$$\text{Полный} - U_{П} = U'''_{ч} + U'''_{ОИ} + U'''_{ОС}, \quad (7)$$

Примененные в уравнениях (5, 6, 7) индексы позволяют выделить вес (долю) каждого вида ущерба в его полном объеме. Приведенное описание многокомпонентного ущерба делает возможным распределить по группам разнохарактерные последствия техногенных происшествий в электроустановках и исключить повторение последствий при их учете. Значит многокомпонентный ущерб будет получен при сложении разных видов и характеристик без повторения опасных техногенных ситуаций.

Приведенное содержание многокомпонентного ущерба при возникновении аварийных режимов в электроустановке представляет ущербы, выраженные в векторной

форме определенного «i» состояния в системе «Ч-ЭУ-С»:

$$Y_{\Sigma i} = \{[Y_n, Y_{ч}], [Y_n, Y_{ои}], [Y_n, Y_{ос}], [Y_{нп}, Y_{ч}], [Y_{нп}, Y_{ои}], [Y_{нп}, Y_{ос}]\}, \quad (8)$$

Ввиду того, что отсутствует универсальная шкала для общей оценки ущерба, необходимо для расчета полного многокомпонентного ущерба применить три шкалы: 1) фактическую, с использованием численного выражения ущерба; 2) экономическую, с расчетом ущерба в денежном выражении; 3) структурную, применяемую при формировании ущерба в условиях невозможности использования количественных его значений.

На рис. 3 представлена картина интегрального риска опасной техногенной ситуации с её последствиями в виде ущерба и потерь. Указанные величины приняты в условных единицах, изменяющихся от 0 до 1.

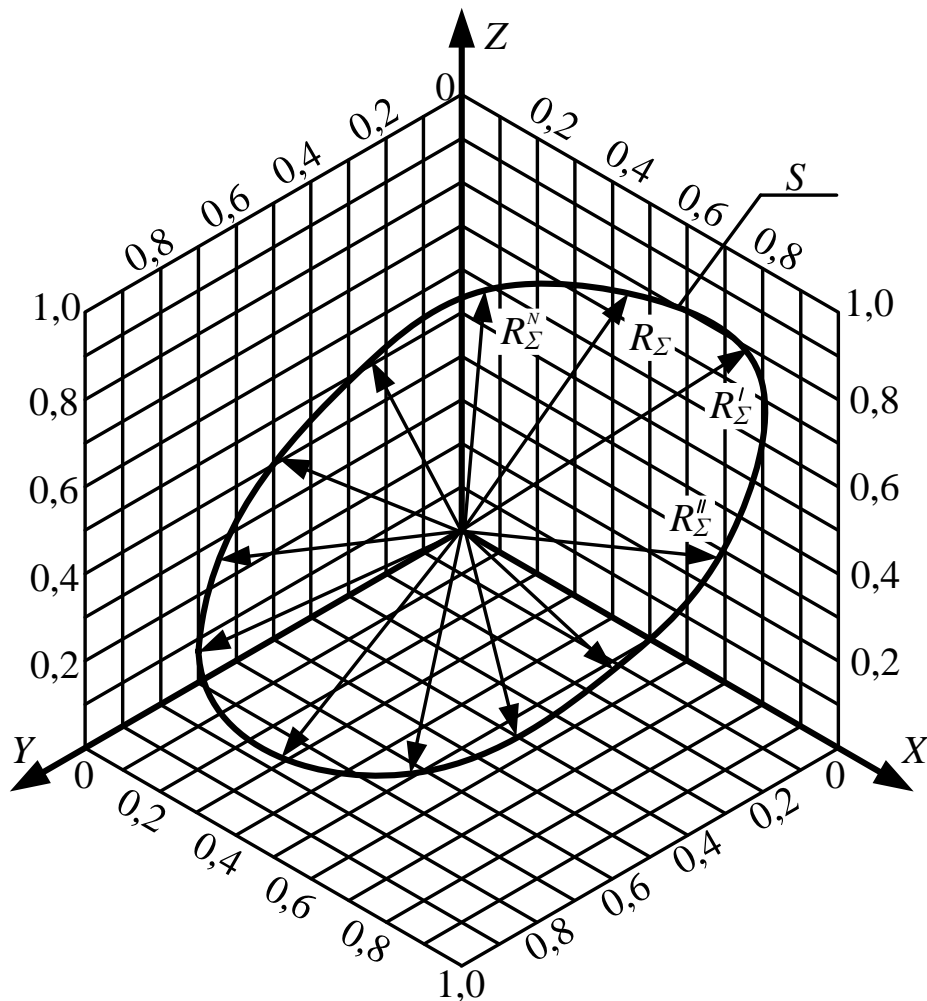


Рис. 3. Картина риска опасной техногенной ситуации

Здесь на оси X учитываются вероятности появления опасной техногенной ситуации; по оси Y отмечается длительность проявления опасной ситуации; по оси Z приводятся размеры последствий опасной ситуации; S – овальная кривая изменения интегрального риска в пространстве и времени.

Для характеристики ущербов при возникновении техногенных происшествий используется нормативно-техническая документация и правовая база Российской Федерации [11, 12]. Данная правовая база дает возможность проводить анализ и выполнять расчеты по определению экономической оценки ущербов в случаях возникновения аварий, пожаров в электроустановках и электротравматизма.

На основании изложенного следует, что опасные техногенные ситуации, происходящие в условиях труда, несоответствующих требованиям Трудового Законодательства, ведут к возникновению профессиональных заболеваний, электротравм. В таком случае, оценка фактического ущерба проводится по расходам на оплату больничных листов на страховые выплаты и другие отчисления. При возникновении электротравм со смертельным исходом оценка фактического ущерба не производится ввиду отсутствия нормативной и правовой основы. Отсюда следует, что общая оценка многокомпонентного ущерба выполняется в денежном эквиваленте, руководствуясь экономической характеристикой к оценке риска здоровья и жизни людей, приведенной в [9], с применением понятия «стоимость среднестатистической жизни человека».

Выводы

Выполненный анализ структуры техногенного ущерба позволяет учесть его многогранность и установить связь с определенным множеством сопутствующих факторов опасности с определением возможности возникновения аварийных режимов в электроустановках, сопровождающихся пожарами и электротравматизмом, а также возникшими расходами и потерями.

Анализ метода составления полного многокомпонентного ущерба при эксплуатации электроустановок с нарушением их нормального режима работы, складывающегося из совокупности опасных ситуаций, позволяет дать оценку ущерба, осуществляемого по экономической шкале в денежном выражении.

Список использованных источников:

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. – М.: Изд-во НЦЭНАС, 2007. – 289 с.
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во «Энас», 2021. – 128 с.
3. Карякин Р.Н., Никольский О.К., Еремина Т.В. и др. Основы электромагнитной совместимости. Учебник для вузов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2009. – 479 с.
4. Воробьев Н.П., Мозоль В.И., Шаныгин И.А. Метод оценки рисков аварий в электрических сетях 10/0,4кВ/ Электротехника. – №12. – 2018. – С. 53-58.
5. Приходько Е.А. Область применения оценки риска производственной и экологической безопасности // Научный вестник Херсонской гос. Морской академии. – Херсон, 2014. - №1 (11). – С. 36-42.
6. Еремина Т.В., Калинин А.Ф. Лингвистическая модель интегрального риска техногенной опасности человеко-машинной системы. Безопасность труда в промышленности. – 2015. - № 3. – С. 83-87.
7. РД 03-496-02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. – М.: Стандартинформ, 2022. – 81 с.
8. Российский статистический ежегодник. 2023. Стат.сб./Росстат. – М, 2023. – 701 с.
9. Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелев Я.В. Дисконтирование и компромисс между поколениями // Проблемы анализа риска, том 2. – 2005. - № 2. – С.114-131.
10. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.И. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сфере. – М.: ФИД «Деловой экспресс, 2024. – 352 с.
11. Приказ Ростехнадзора от 13.05.2015 N 188 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах". - М.: Стандартинформ, 2015. – 81 с.
12. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.02 №184-ФЗ. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ - (дата обращения 15.11.2024).

Цитирование:

Еремина Т.В., Плишкина О.В. Методы оценки многокомпонентного ущерба в аварийных режимах электроустановок на сельскохозяйственных объектах [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_111.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202151111>.