

## МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

*В статье приведен алгоритм анализа интегрального риска при эксплуатации электроустановок на объектах АПК. Показана структурная схема анализа риска. Указаны области уровней интегрального риска электроустановки. Рассмотрены иницирующие факторы в системе «человек-электроустановка-среда». Дан перечень рискообразующих факторов человеко-машинной системы. Определены уровни частот опасных техногенных ситуаций и уровни вычисления интегрального риска.*

**Ключевые слова:** электроустановка, уровень риска, человеко-машинная система, техногенная опасность, электротравматизм, рискообразующие факторы, интегральная оценка риска.

*A.F. Kalinin, T.V. Eremina*

## THE METHODOLOGY OF THE DANGER INTEGRAL RISK ASSESSMENT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OBJECT ELECTRO-INSTALLATIONS

*The analysis algorithm of the integral risk in the operation of electro-installations in AIC objects is given in the article. The block diagram of the risk analysis is shown. The level areas of the integral risk of electro-installation are indicated. The initiating factors in the system “man-electro-installation-environment” are considered. The list of risk-forming factors of the man-machine system is given. The frequency levels of dangerous technogenic situations and levels of integral risk calculation are determined.*

**Key words:** electro-installation, risk level, man-machine system, technogenic danger, electro-traumatism, risk-forming factors, integrated assessment of risk.

---

**Введение.** В соответствии с концепцией анализа риска [1, 2] в основе обеспечения техногенной безопасности должна лежать методология определения частоты (вероятности) и последствий негативных событий. Сочетание этих событий является достаточным основанием признания факта объективного существования риска опасности электроустановки.

**Цель исследования.** Прогнозирование опасных событий и обоснование оценок рисков при реализации организационных и технических мероприятий, направленных на их снижение. Определение уровней допустимых (приемлемых) рисков.

**Методология исследования.** На рисунке 1 представлен алгоритм анализа интегрального риска электроустановок объектов АПК. Процедура анализа риска электроустановки следующая.

*Этап 1.* Обоснование методологии, выбор и описание объекта исследования (системы).

При анализе рисков необходимо придерживаться концепции трехкомпонентной человеко-машинной системы «человек-электроустановка-среда» (Ч-ЭУ-С), характеризующей взаимодействие: а) с человеком (социальный фактор); б) с электроустановкой (техногенный фактор); в) с окружающей средой (экологический фактор).

Подчеркнем, что целями риска-анализа может быть либо оценка безопасности объекта, либо определение эффективности (количественно) мероприятий по повышению техногенной безопасности. Для определения критериев и уровней приемлемого риска применены рекомендации [3–5], из которых следует, что предельно допустимый уровень техногенного риска устанавливается на основании так называемой экономической целесообразности (рис. 2).

Номер этапа	Процедура	Методологический аппарат анализа. Методы моделирования
1. Обоснование методологии, выбор и описание объекта (системы)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">Электроустановка</div> <p>Определение целей анализа</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Детерминистический</div>
2. Идентификация опасностей системы	<p>Анализ надежности, уязвимости, отказов и аварий</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Выделение опасных подсистем</div> <div style="font-size: 20px;">↔</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Выделение опасных воздействий</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Статистический</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Вероятностный</div>
3. Изучение условий реализации опасностей	<p>Формирование перечня рискообразующих факторов компонентов человеко-машинной системы</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph LR     C[Ч] &lt;--&gt; EU[ЭУ]     EU &lt;--&gt; S[С]     S --&gt; C     EU --&gt; C             </pre> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Логико-вероятностный</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Метод нечетких множеств</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Качественный анализ</div>
4. Получение вероятностных оценок	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Сбор и анализ статистических данных</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Экспертная оценка надежности и опасности ЭУ</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">Оценка вероятности возникновения опасных техногенных ситуаций</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Диаграммы влияния</div>
5. Анализ последствий	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Анализ поражающих факторов</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Анализ вредодействующего фактора</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Анализ деструктивных факторов</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Оценка ущербов и потерь</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Дерево событий</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Дерево отказов</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Сети GERT</div>
6. Оценка риска (критерии)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Учет неопределенностей</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Обоснование качественно-количественных индикаторов</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Имитационные модели</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Экспертные системы</div>
7. Вычисление интегрального риска	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">Определение индивидуального, коллективного и социального R</div>	

Рис. 1. Структурная схема анализа риска

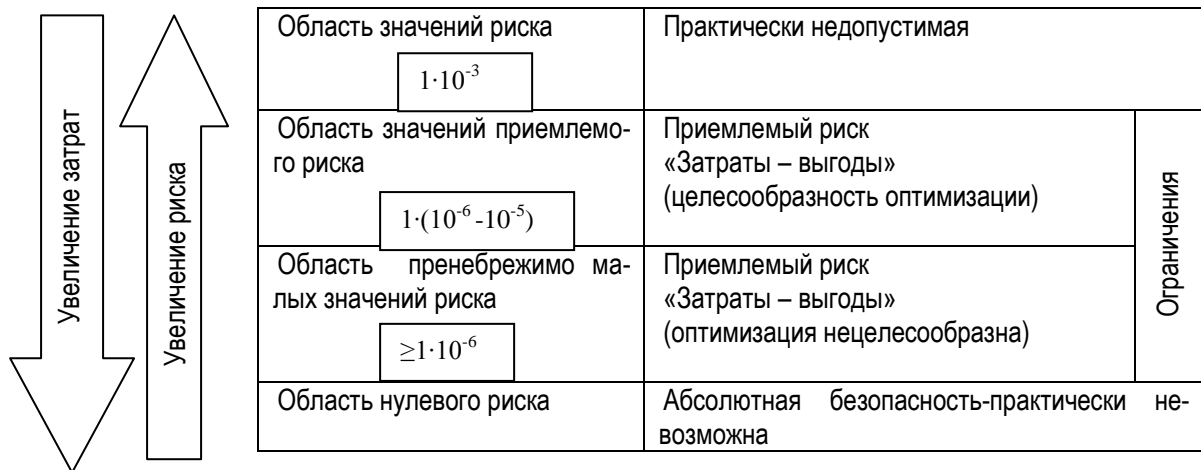


Рис. 2. Области уровней интегрального риска электроустановки

Этап 2. Идентификация техногенных опасностей.

Рассмотрим инициирующие события, которые могут привести к негативным последствиям (аварии, травме, пожару):

1. Подсистема «человек» – свойства, характеризующие «надежность» человеческого фактора.
2. Подсистема «электроустановка» характеризуется параметрами надежности и живучести (уязвимости).
3. Подсистема «среда» характеризуется штатными и аварийными нагрузками, оказывающими негативное воздействие на функционирование системы.

На этом этапе выявляется перечень неблагоприятных событий, проявление которых способно нанести вред человеку.

Изучение физических закономерностей накопления повреждений при учете различных факторов среды позволило провести систематизацию основных дефектов электроустановки, приводящих к отказу (табл. 1).

Таблица 1

**Систематизация основных эксплуатационных дефектов электроустановки**

Проводящие и конструкционные элементы	Изоляционные элементы
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Окисление</li> <li>- Усталость металла</li> <li>- Коррозия металла</li> <li>- Нагрев токоведущих элементов</li> <li>- Нагрев контактных соединений</li> <li>- Образование свищей и трещин</li> <li>- Частичные микроразрывы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Электрическое и тепловое старение диэлектрика</li> <li>- Снижение поверхностного и объемного сопротивлений</li> <li>- Повышение диэлектрических потерь</li> <li>- Эрозионный износ</li> <li>- Образование токопроводящих мостиков</li> <li>- Кавитация</li> <li>- Увлажнение</li> <li>- Искрообразование</li> <li>- Облучение</li> <li>- Пробой (электрический, тепловой)</li> </ul>

К инициирующим факторам среды (производственные сельскохозяйственные объекты) отнесем:

- температуру;
- относительную влажность воздуха;
- наличие агрессивной среды (химически активных загрязнителей);
- резкие колебания параметров микроклимата производственных помещений.

Процедура идентификации риска ЭУ представлена на рисунке 3.

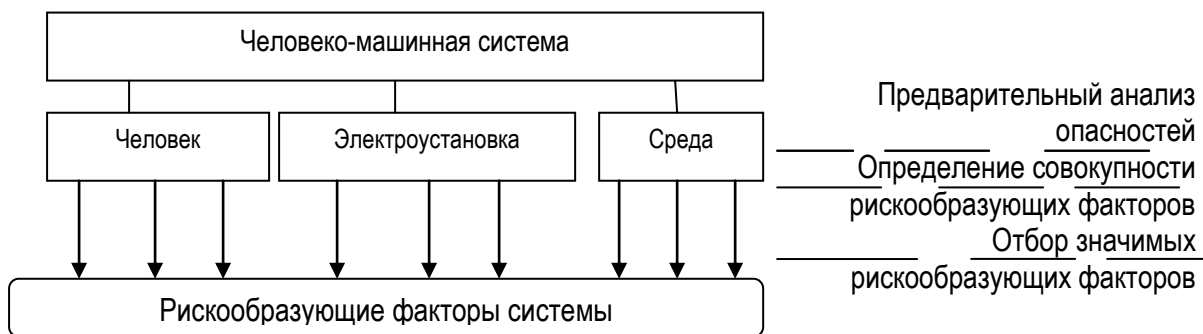


Рис. 3. Процедура идентификации риска

Этап 3. Для изучения условий реализации техногенных опасностей формируется перечень рискообразующих факторов компонентов человеко-машинной системы с учетом следующих информационных блоков: 1) отказы электроустановки; 2) перерывы электроснабжения потребителей; 3) электротравматизм людей; 4) пожары от электроустановок; 5) потери электроэнергии; 6) ухудшение показателей качества электроэнергии; 7) электропоражение и электропатология сельскохозяйственных животных.

Этап 4. Получение вероятностных оценок (частот) опасных событий (табл. 2) относится к первому шагу анализа риска [6]. Частота возникновения опасной техногенной ситуации (ОТС) в электроустановке может быть задана как количественно (в виде точечных или интервальных оценок), так и качественно (с помощью лингвистических переменных).

Для определения частоты возникновения опасного события в ЭУ могут быть использованы следующие подходы:

1. Сбор и анализ статистических данных (отказы, аварии, несчастные случаи и т.д.), накопленных за определенный период эксплуатации объектов.
2. Прогнозирование частоты ОТС с использованием анализа деревьев событий и отказов [7].

Таблица 2

**Типовые уровни частот возникновения ОТС**

Уровень частоты события	Частота событий, $f$ , год <sup>-1</sup>	Описание
Частое	$f > 10^{-3}$	Вероятность частого возникновения. Постоянное наличие опасности
Вероятное	$5 \cdot 10^{-4} \leq f < 10^{-3}$	Неоднократное возникновение. Ожидается частое возникновение опасного события
Случайное	$10^{-4} \leq f < 5 \cdot 10^{-4}$	Вероятность неоднократного возникновения. Ожидается неоднократное возникновение опасного события
Редкое	$10^{-5} \leq f < 10^{-4}$	Вероятность того, что событие будет иногда возникать на протяжении жизненного цикла объекта. Обоснованное ожидание возникновения опасного события
Крайне редкое	$10^{-6} \leq f < 10^{-5}$	Возникновение события маловероятно, но возможно. Можно предположить, что опасная ситуация может возникнуть в исключительном случае
Маловероятное	$f \leq 10^{-6}$	Вероятность возникновения крайне маловероятна. Можно предположить, что опасное событие не возникнет

Этап 5. Анализ последствий (исходов) направлен на оценку ущерба (потерь), вызванных: - простоем технологического оборудования и недоотпуском продукции из-за перерывов электроснабжения потребителей;

- компенсационными издержками вследствие возникших аварий и отказов электроустановок;
- электротравматизмом людей с летальным или тяжелым исходом (потерей трудоспособности);
- потерей молокоотдачи у коров и привесов у животных на откорме, вызванных электропатологией;
- потерей электроэнергии в сетях из-за несимметрии нагрузок и наличия высших гармоник напряжения и тока.

Этап 6. Оценка риска (критерии) включает в себя анализ частот (или вероятностей), анализ последствий, определение условия риска и его составляющих, определение уровня риска и его сопоставление с нормативным (приемлемым) значением. При этом критерии приемлемого риска могут задаваться нормативно-технической документацией.

В настоящее время принято считать, что техногенный риск должен находиться в пределах  $1...2 \cdot 10^{-6}$  (смертельных случаев чел<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>), а величина  $1 \cdot 10^{-6}$  является максимально приемлемым уровнем индивидуального риска [8].

Этап 7. Процедура вычисления интегрального риска сводится к определению его составляющих:

- 1) индивидуального, которому подвергается человек, получивший электротравму (оценивается вероятностью попадания человека под напряжение или прогнозируемой частотой смертности или инвалидности);
- 2) коллективного, определяемого ожидаемым числом смертельно травмированных в результате возникновения техногенной опасности за определенный период времени;
- 3) социального, характеризующегося отношением числа погибших от электротравм к определенному множеству людей.



Рис. 4. Методология оценки интегрального риска ЭУ

**Выводы.** Как было отмечено выше, все риски могут быть определены статистическим либо вероятностным (с помощью математического моделирования) методом. Последующие этапы, связанные с сопоставлением полученных расчетных значений интегрального риска с приемлемым, установленным соответствующими нормативами, наглядно иллюстрируются на рисунке 4.

Заключительным этапом анализа является так называемая обработка риска, описываемая процессом выбора и выполнения мероприятий для изменения риска (уменьшение значения или его предотвращение).

### Литература

1. ГОСТ Р. 51.901.11-2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. – М.: Изд-во станд., 2005.
2. ГОСТ Р. 51.901. 12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М.: Изд-во станд., 2007.
3. Еремина Т.В. Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок / под ред. О.К. Никольского. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. – 200 с.
4. Ерёмина Т.В., Калинин А.Ф. Метод математического моделирования травмоопасных ситуаций при эксплуатации ручных электрических машин // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 11. – С. 292–296.
5. Техническая диагностика и остаточный ресурс электроустановок / О.К. Никольский, Н.П. Воробьёв, Н.И. Черкасова [и др.]. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 207 с.
6. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. 2001.
7. Хенли Дж., Куматото Х. Надежность технических систем и оценка риска: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
8. Основы электромагнитной совместимости: учеб. для вузов / Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников [и др.]; под ред. Р.Н. Карякина. – Барнаул: ОАО «Алтайский Полиграфический Комбинат», 2007. – 408 с.



УДК 658.382.2

Н.И. Чепелев, Э.А. Будьков, И.Н. Чепелев

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИН

*В статье приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности методов и технического средства повышения безопасности труда и прогнозирования производственного травматизма операторов тестомесильных машин пищевых производств.*

**Ключевые слова:** анализ травматизма, безопасность, несчастный случай, травмирование оператора, травмоопасность, травмоопасная зона.

N.I. Chepelev, E.A. Budkov, I.N. Chepelev

#### THE EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS OF METHODS AND MEANS FOR LABOUR SAFETY PERFECTION OF THE DOUGH-MIXING MACHINE OPERATORS

*The experimental research results of the effectiveness of methods and technical means for labour safety perfection and the on-the-job traumatism forecasting of the dough-mixing machine operators are given in the article.*

**Key words:** traumatism analysis, safety, accident, injury of operator, traumatism danger, traumatic zone.

---

**Введение.** Обеспечение безопасных условий труда является актуальной проблемой и основополагающей целью, к которой стремится государство и общество. Охрану труда как систему мероприятий, направленных на улучшение условий и безопасности труда, необходимо рассматривать как средство достижения этой цели.

**Цель работы.** Повышение безопасности труда операторов при обслуживании оборудования пищевых и перерабатывающих производств.

**Задачи исследования:** провести экспериментальные исследования вероятности травмирования операторов тестомесильных машин и математическую обработку результатов экспертного