

УДК 621.31

Многокритериальная оценка антропогенного риска опасности электроустановок на основе имитационного моделирования

Никольский О.К.¹, Фараносов В.В.¹, Суринский Д.О.², Усков Е.В.²

¹*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

²*Государственный аграрный университет Северного Зауралья*

Аннотация

Рассмотрены управления рисками в человекомашинной системе. Приведены основные модели и методы принятия решений «человек - электроустановка - среда». Рассмотрен метод анализа риска. Предложен экспертно-программный комплекс, реализующий оценку рисков опасности электроустановок.

Ключевые слова: ЧЕЛОВЕКОМАШИННАЯ СИСТЕМА, УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, МЕТОД АНАЛИЗА РИСКА, «ГАЛСТУК-БАБОЧКА», ПОЖАРНЫЙ РИСК ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Управление рисками представляет собой сложный многокритериальный процесс, направленный на предотвращение угроз и снижение их последствий. Рассмотрим человекомашинную систему (ЧМС), характеризуемую неоднородностью её компонентов «Человек», «Электроустановка», «Среда» («Ч-Э-С») и стохастической неопределенностью [1, 2]. Здесь решающая роль принадлежит индивидуальному или коллективному принятию решений (ПР), определяемому на основе тех или иных предпочтений, с учетом которых можно упорядочить решения и выбрать лучшее (оптимальное) из них (рис. 1).

Сформулируем задачу разработки модели и алгоритмов принятия решения в ЧМС, включающую: а) анализ существующих методов многокритериального выбора решений; б) формирование критериев функционирования ЧМС (показателей эффективности); в) формализацию задачи ПР в виде представленной трехуровневой структуры.

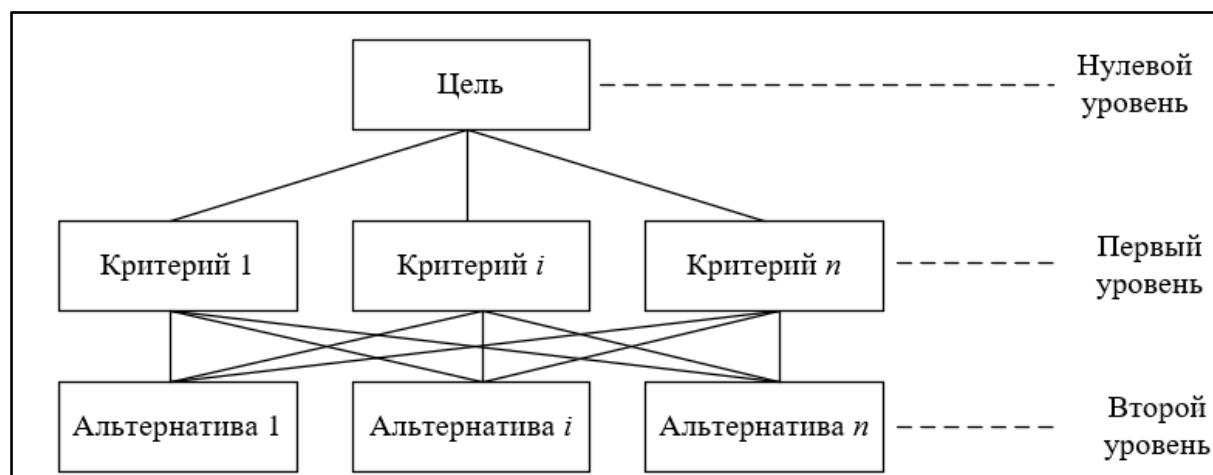


Рис. 1. Пример построения иерархической структуры «Ч-Э-С»

Рассмотрим основные модели принятия оптимальных решений:

1. Методы эмпирического исследования, включающие проведение специалистом интуитивно-логического анализа в сочетании с количественной оценкой и обработкой полученных результатов: применяются для решения не формализуемых задач, которые трудно поддаются количественной оценке.

2. Экспертные методы, представляющие собой прогнозирование изучаемого явления на основе обобщения мнений экспертов о развитии процесса в будущем (динамику изменения риска) с применением экстраполяционных методов, где в качестве исходной информации возможно использование временных рядов.

3. Методы многокритериального анализа, где оценка и сравнение альтернатив производится по нескольким критериям, когда нужно учитывать некоторую группу необходимых параметров (рис. 2).

Решение рассматриваемой задачи состоит в создании интерактивной процедуры многоуровневого анализа и выбора лучшей альтернативы на основе качественной информации, получаемой экспертным путём о предпочтениях ПР, с помощью метода парных сравнений. В основе этого метода лежит экспертное сравнение объектов и показателей в парах для определения предпочтительности с помощью сравнительного анализа и последующего синтеза [3, 4]. Определение безразмерных приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность подсистем и элементов построения структуры человекомашиной системы, позволяет нам обоснованно сравнивать разнородные рискообразующие факторы. На заключительном этапе критерии

альтернативных решений сравниваются, лучшим из которых является альтернатива с максимальным значением приоритета.



Рис. 2. Схема многокритериального анализа альтернатив

Рассмотрим метод анализа риска (MAR) как способ визуализации опасности электроустановок объекта.

Метод «галстук-бабочка». Исходные положения: опасность возникает в процессе функционирования компонентов и элементов человекомашиной системы при условии, если действующие в техносфере потоки вещества, энергии и информации превышают пороговые (критические) значения [5, 6].

Метод представляет собой схематическую процедуру описания и анализа пути развития опасной антропогенной ситуации (ОАС) от зарождения и идентификации её источников до возникновения негативных последствий. Метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей (до возникновения ОАС) и анализ последствий с помощью дерева событий (после ОАС).

На рис. 3 приведена диаграмма «галстук-бабочка» применительно к опасному событию «Пожар в электроустановке производственного объекта». Здесь «Блок причин» источник угроз и возникновения ОАС, вызванной: а) компонентом «Человек»,

учитывающим ошибочное действие электротехнического персонала и операторов, опыт работы, образования и др.; б) компонентом «Электроустановка» – возникновение отказов и аварий технического электрооборудования производственного быта; в) компонентом «Среда» – негативное воздействие факторов рабочей и внешней среды, инициирующие возникновения ОАС.

Каждая из рассматриваемых по компонентам ЧМС, составляющих «Блок причин» связана соответственно с «Блоком последствий». Причём, в зависимости от ограждающих барьеров «Предупредительные меры» и «Меры предотвращения ОАС и снижения последствий» могут быть как позитивными, так и негативными, в зависимости от эффективности функционирования подсистем человеко-машинной системы «Ч-Э-С».



Рис. 3. Диаграмма «галстук-бабочка»

Будем рассматривать машинное моделирование как процесс построения

математических или логико-лингвистических моделей предполагаемой или действующей человекомашиной системы. По существу, такое моделирование представляет собой имитацию некоторой реальной или проектируемой системы. Имитационное моделирование позволяет проводить исследования, когда реальная система может быть недоступна по моральным или экологическим соображениям, например, при установлении критериев электробезопасности, оказывающих поражающее воздействие на человека, приводящее к летальному исходу. Нельзя также проводить эксперименты на действующих электроустановках, которые могут вызвать воспламенение и привести к пожару. Единственный выход – построить адекватную имитационную модель, исследовать ее работоспособность, обобщив и перенеся полученные результаты на реальную систему [7, 8].

Для проведения машинных экспериментов необходимо иметь формализованное описание физических процессов, протекающих в реальных электроустановках, т.е. нужны модели, формализованные в виде математических, логических и семантических высказываний. Построение такого рода моделей возможно, если: а) известны физические законы, управляющие системой; б) идентифицированы рискообразующие факторы; в) изменчивость входов, выходов и элементов системы поддаются контролю.

Отметим, что моделирование рассматриваемой ЧМС «Ч-Э-С» представляет значительную сложность в сравнении с физическими системами, описываемые фундаментальными законами. Объяснение этому – отсутствие единой методологии, сдерживающей проведение комплексного учета факторов возникновения опасностей компонентов различной природы человекомашиной системы. Важность анализа такой системы вызвана следующим: а) низкой структурированностью, неопределенностью, физической неоднородностью компонентов ЧМС; б) наличием многочисленных ограничений технологического, нормативного и экономического характера; в) имитирующими предпосылками, приводящими к возникновению антропогенных опасных ситуаций: ошибки человека (персонал, население) - человеческий фактор; г) отказами системы электроснабжения и электрооборудования - технологический фактор; д) негативными (сверхнормативными) воздействиями факторов среды (С); е) недостаточностью исходных и текущих данных и отсутствием точного (удовлетворительного) описания возникновения и развития аварийных процессов, что делает невозможным принятие адекватных оценок. Неопределенность информации

вызвана состоянием среды, обусловленной случайностью. Нечеткость является следствием субъективности процессов мышления человека, неясность объясняется многообразием семантики и структуры естественного языка.

В этой связи представляется перспективным оценивать исходную информацию, имеющую неясную, неопределенную и вероятностную природу на основе имитационного моделирования человекомашиной системы, позволяющего снять многие ограничения и рассматривать имитацию опасных процессов в электроустановках как альтернативу экспериментально-опытной проверке. Имитация также представляет необходимую гибкость при построении различного вида моделей – от агрегированных (упрощенных) до высокой степени детализированных. Известно, что более 40% аварий и других техногенных угроз прямо или косвенно связано с человеческим фактором [9]. Поэтому оценка безопасности электроустановок без учета влияния персонала не является достоверной.

Значительная сложность современной человекомашиной системы с участием человека-оператора приводит нас к целесообразности отказа от построения традиционных вероятностных моделей и привлечения соответствующего математического аппарата. По нашему мнению, весьма перспективным здесь представляется использование новых информационных технологий, так называемых «мягкий вычислений», разработанных Л. Заде [10]. Сущность этого подхода в отличие от традиционных жестких вычислений, связанных с решением дифференциальных и интегральных уравнений, состоит в том, что «мягкие вычисления», по своей сути, можно отнести к технологиям приближенного решения, когда, например, антропогенную среду реальной электроустановки невозможно описать с помощью точных выражений. При этом возникает вопрос о соответствии приближенного и точного решения, т.е. речь идет об определении степени объективности.

Существует мнение, что классические модели физических процессов, описывающих, например, электромагнитное поле с помощью дифференциальных уравнений Максвелла, являются достаточно строгими и точными, а методы вычислительной математики представляются как приближенное решение этих уравнений. Однако, как показывает практика, при моделировании реальных объектов (электроустановок), зачастую, ставится более упрощенная задача только приближенного решения, вводя соответствующие допущения. В этом случае достаточно найти приближенное (мягкое) решение и исследовать объект без нахождения точного решения.

Такой вывод подтверждается сформулированным Л. Заде принципом несовместимости: с ростом сложности объекта утрачивается возможность точного его описания и практической его надобности [11]. В пользу использования аппарата мягких вычислений (МВ) говорит тот факт, что исходные данные, являющиеся основой для построения модели, всегда носят приближенный характер, т.к. они могут быть получены либо путем измерений (с неизбежной погрешностью), либо экспертно, т.е. субъективно. Процедура проведения МВ предполагает использование определенных математических инструментов, среди которых выбираются нечеткие множества (НМ) и нечеткую логику (НЛ) для приближенного описания слабоструктурированной человекомашиной системы [12].

Рассмотрим алгоритм построения имитационной модели человекомашиной системы «Ч-Э-С». Процесс разработки ИМ может включать следующие этапы.

1. Постановка задачи. Здесь формулируется цель разработки, структурные неопределенности, которые необходимо разрешить, и способ оценки эффективности системы, позволяющий сравнивать альтернативные варианты.

2. Построение модели – заложен принцип конструирования человекомашиной системы с помощью логико-математических и нечетко-лингвистических структурных соотношений.

3. Сбор данных – формирование базы данных. Предполагается выполнение идентификации источников опасности, спецификацию и получения необходимых данных (оценка частоты-вероятности этапов и переходов на альтернативные пути реализации цели и т.п.).

4. Трансляция ИМ – направлена к машинной реализации в соответствии с правилами выбранного языка моделирования.

5. Верификация – осуществляется с целью проверки правильности работы алгоритмического и программного обеспечения.

6. Проверка адекватности модели осуществляется с целью установления соответствия между имитационной моделью и реальной системой.

7. Экспериментирование, целью которого является осуществление прогона моделирующей программы и получение выходных результатов.

8. Анализ результатов и использование имитационной модели с целью оценки и прогнозирования антропогенного риска человекомашиной системы и ее компонентов, в

частности, определения остаточного ресурса электроустановок производственного объекта.

Рис. 4 иллюстрирует концепцию имитационного моделирования рассматриваемой в работе слабоструктурированной ЧМС «Ч-Э-С».

Таким образом, эксперименты с имитационными моделями имеют целью выяснение влияния рискообразующих факторов на величину приемлемого (нормативного) значения интегрального риска R_{Σ} опасности электроустановки, что позволяет сделать выбор среди множества альтернативных решений.

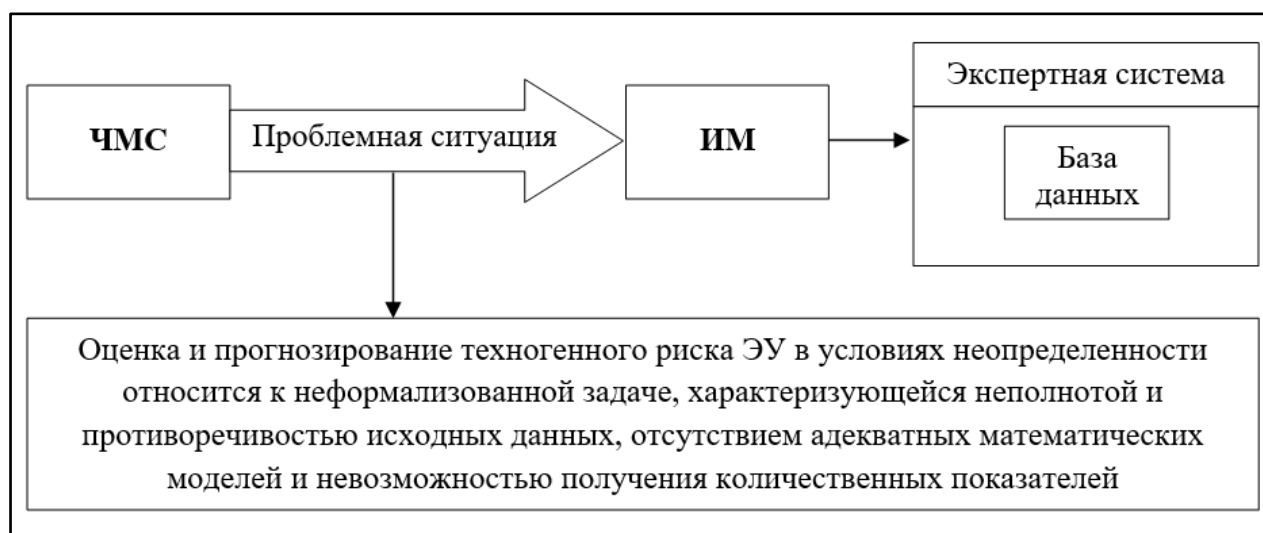


Рис. 4. Принципы построения имитационного моделирования

К основным свойствам имитационной модели отнесем: а) возможность использования всей доступной информации вне зависимости от форм ее представления и степени формализации; б) понимание физических процессов, происходящих в электроустановках производственного объекта в реальном масштабе времени; в) получение адекватного решения функционирования ЧМС «Ч-Э-С» с помощью лингвистических моделей и экспертных систем.

Разработанный метод многокритериальной оценки и управления техногенными рисками опасности электроустановок был реализован путем создания экспертной системы, позволяющей в условиях информационной неопределенности устанавливать причинно-следственные связи между инициирующими событиями (рискообразующими факторами приводящими к возникновению опасных последствий), и их последствиями в

виде моральных потерь (гибель людей), материального и экологического ущерба.

Механизм формирования антропогенного риска может быть представлен в виде имитационной модели взаимодействия компонентов ЧМС (персонала, электроустановки и производственной среды), между которыми с помощью нейронных сетей устанавливаются информационные и энергетические связи.

Разработанный экспертно-программный комплекс явился основой создания интеллектуальной системы принятия решений в рассматриваемой предметной области.

По результатам выполненных исследований представлены методические рекомендации «Оценка и управление пожарными рисками опасности электроустановок на предприятиях АПК», принятых Минсельхозом и Главным управлением МЧС по Алтайскому краю для практического использования.

Список использованных источников:

1. Gabova M., Nikolsky O., Guner M. The expert system for assessing fire risks of electrical installations in the agrarian industrial complex based on neural networks // International Conference on High-Performance Computing Systems and Technologies in Scientific Research. - 2021. - V. 214. - No. 114; DOI: [10.1088/1742-6596/2142/1/012005](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2142/1/012005).
2. Udartseva O., Nikolsky O. Computer Science in Environmental Safety Research // International Science and Technology Conference on Earth Science. - 2019. - V. 414. - No. 459; DOI: [10.1088/1755-1315/459/4/042043](https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042043).
3. Bagaev A., Kulikova L., Kunitsyn R. Influence of inclination angle of piezoelectric receiver of ultrasonic sensor on the error in measurement of the average fiber diameter // International Scientific and Practical Conference on Modern Problems of Ecology, Transport and Agricultural Technologies. - 2020. - V. 113. - No. 124; DOI: [10.1088/1757-899X/941/1/012050](https://doi.org/10.1088/1757-899X/941/1/012050).
4. Halina T., Stalnaya M., Ivanov I., Rybalkina T., Ryazanova E. Speed Regulation of Single-Phase Engines Used in Agriculture // International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering. - 2018. - Vol. 223-227. - No. 6; DOI: [10.1109/APEIE.2018.8545140](https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545140).
5. Дробязко О.Н., Куликова Л.В. Системно-вероятностное моделирование систем обеспечения электробезопасности на объектах АПК // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2022. - № 2 (208). - С. 94–101.
6. Титов Е.В., Сошников А.А., Куликова Л.В. Оценка защитного действия многослойного экрана в электрическом поле широкого диапазона частот // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2019. - № 9 (179). - С. 157–162.

7. Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Контроль и предотвращение пожаров от токов утечки в электроустановках производственного объекта [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_538.pdf.

8. Габова М.А. Оценка пожарных рисков электроустановок АПК на основе нейронных сетей // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. - 2021. - Т. 5. - № 1. - С. 217–221.

9. Никольский О.К. Модель функционирования системы техногенной безопасности электроустановок // Вестник АПК Ставрополя. - 2021. - № 1(41). - С. 19–23; DOI: [10/31279/2222-9345-2021-10-41-19-23](https://doi.org/10.31279/2222-9345-2021-10-41-19-23).

10. Shirobokova T., Surinsky D., Egorov S. Modeling of led luminaires with optimal temperature operation of leds // Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling. - 2021. - Vol.174. - No. 529; DOI: [10.1088/1742-6596/2131/5/052093](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/5/052093).

11. Куликова Л.В. Энергетический анализ производства продукции растениеводства / Л.В. Куликова, Д.О. Суринский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 4 (96). - С. 176–179.

12. Суринский Д.О., Карнаухов К.А. Методика расчета энергосберегающих мероприятий при защите объектов АПК от вредителей [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_305.pdf.

Цитирование:

Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О., Усков Е.В. Многокритериальная оценка антропогенного риска опасности электроустановок на основе имитационного моделирования [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_105.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202141105>.