

УДК 621.31

Метод оптимизации антропогенных рисков опасности электроустановок*Никольский О.К.¹, Фараносов В.В.¹, Моторин И.А.², Усков Е.В.²**¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова**²Государственный аграрный университет Северного Зауралья***Аннотация**

В настоящее время создание процессов функционирования человекомашинных систем типа «Ч-Э-С» по показателям эффективности и надежности является наиболее востребованным направлением в области автоматизации, управления и принятия решений. Системы интеллектуальной поддержки принятия решений помогают ЛПР проанализировать значительные объемы исходной информации с учетом экспертных оценок специалистов, сформулировать множество возможных вариантов решения и найти из них наилучшее. В данной статье рассматривается проблема, связанная с разработкой алгоритма создания множества альтернативных вариантов в процессе функционирования человекомашинной системы, позволяющих провести ее оптимизацию.

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, АНТРОПОГЕННЫЕ РИСКИ, ЧЕЛОВЕКОМАШИННАЯ СИСТЕМА, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ, МЕТОД «ГАЛСТУК-БАБОЧКА»

Анализ антропогенных рисков (АПР) представляет собой совокупность процедур, направленных на выявление рискообразующих факторов (РОФ) и оценку их значимости. Оценка АПР содержит качественные количественные определения его величины. Основными результатами качественного анализа является выявление конкретных видов риска и порождение его причин, также анализ стоимостного эквивалента последствий по минимизации ущерба. Количественные исследования позволяют численно определить величину рисков - состояние техногенной безопасности электроустановок на

сельскохозяйственном объекте [1].

Рассмотрим метод оптимизации АПР опасности электроустановок в многокритериальной среде. Под управлением АПР условимся считать процесс поиска наилучшего (оптимальность) распределения материальных ресурсов и финансовых средств, направленных для предотвращения опасных ситуаций и минимизации ущербов, обеспечивающих достижение такого уровня безопасности населения и окружающей среды, какой достижим в существующих условиях общества [2].

В сферу наших интересов входят антропогенные риски ($R_{0Э}$), вызванные действием электрического тока и параметрами электромагнитного поля (электромагнитного излучения), приводящие к негативным последствиям: а) авариям системы электроснабжения; б) электротравматизму персонала, населения; в) пожарам, возникающим из-за коротких замыканий, перегрузок, токов утечки; г) снижению качества электроэнергии потребителям; д) увеличению электрических потерь в сетях; е) ухудшению экологической обстановки.

С этих позиций управление риском опасности электроустановок (УРОЭ) представим, как некоторую совокупность методов и мероприятий, позволяющих прогнозировать наступление опасных событий и принимать адекватные меры к их предупреждению и снижению отрицательных последствий таких событий. Применительно к рассматриваемой предметной области (диагностирование технического состояния объектов электроэнергетики, в том числе электрохозяйства инфраструктуры городов и населенных пунктов), к задачам УРОЭ отнесем:

- идентификацию источников опасности - рискообразующих факторов;
- оценку степени и анализ приемлемости (допустимости) данного значения уровня $R_{0Э}$;
- прогнозирование и оптимизацию $R_{0Э}$;
- разработку барьеров - мер по предупреждению или снижению вероятности возникновения опасности и ее последствий.

Рассмотрим $R_{0Э}$ как сочетание вероятности наступления опасного события (P), например, аварии в электроустановке, и его последствия, т.е. ущерба (Y) - материального, морального, экологического. Тогда цель УРОЭ сводится к решению задачи оптимизации, математическая постановка которой может быть представлена как:

1. Найти $\min R_{\Sigma}(X)$ при условии, что $Q(X) \leq Q_0$

2. Найти $\min Q(X)$ при условии, что $R_{\Sigma}(X) \leq R_{\Sigma 0}$

Здесь $R_{\Sigma}(X)$ - функция интегрального риска от векторного аргумента $X \in (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, где i -ый рискообразующий фактор (РОФ); $Q(X)$ – функция - вектор, определяющая полные затраты (затраты на создание и функционирование системы безопасности электроустановок (СБЭ); остаточный (не устраненный) ущерб $У$; компенсационные издержки (K);

$R_{\Sigma 0}$ - заданный (приемлемый или нормативный) интегральный риск.

Отметим, что под интегральным риском рассматривается показатель потенциальной опасности функционирования человекомашиной системы «Ч-Э-С», учитывающий социальный, материальный и экологический ущербы, выраженные в едином денежном эквиваленте [3].

Последовательность решения оптимизационной задачи включает следующие основные этапы:

1. Содержательная (словесная или вербальная) и концептуальная постановка задачи;
2. Математическая формулировка задачи;
3. Подготовка исходных данных;
4. Поиск и выбор метода решения задачи;
5. Разработка алгоритма и программного обеспечения;
6. Решение задачи (нахождение оптимального значения выбранной функции);
7. Верификация (проверка полученных результатов на правдоподобие) и системный анализ всего решения.

Оптимизация ЧМС (Ч-Э-С) связана с решением сложных слабоформализованных задач, характеризуемых стохастическими нелинейными векторными критериями большой размерности, требующими введении ряда упрощающих допущений.

Основными положениями постановки задачи многокритериальной оптимизации применительно к рассматриваемой предметной области [Пр(О)] являются:

- объект оптимизации человекомашиной системы вида «Ч-Э-С»;
- цель (предотвращение угроз возникновения опасных антропогенных ситуаций (ОАС) и снижение последствий (моральных, материальных и экологических) путем

проведения комплекса организационно-технических мероприятий;

- ограничение (материальные и финансовые ресурсы, выделенные на достижение результата).

Сформулируем задачу разработки модели и алгоритма принятия решения в ЧМС, включающую:

- а) анализ существующих методов многокритериального выбора решений;
- б) формирование критериев функционирования ЧМС (показателей эффективности);
- в) формализация задачи принятия решения в виде трехуровневой структуры (цель - критерии - альтернативы) [4, 5].

Рассмотрим основные модели принятия оптимальных решений.

1. Методы эмпирического исследования, включающие проведение специалистами интуитивно логического анализа в сочетании с количественной оценкой и обработкой полученных результатов (применяется для решения не формализуемых задач, трудно поддающихся количественной оценке).

2. Экспертные методы, представляющие собой прогнозирование показателей эффективности системы на основе обобщения мнений экспертов о развитии процессов в будущем (динамику изменения риска) с применением экстраполяционных методов, в которых в качестве исходной информации возможно использование временных рядов.

3. Методы последовательной оптимизации.

3.1. Метод главного критерия, позволяющий свести многокритериальную задачу к однокритериальной, выделив один основной критерий K_1 , стремясь обратить его в максимум (или минимум) - в зависимости от постановки задачи, а на остальные частные критерии K_2, K_3, K_n наложить ограничения с условием, чтобы они были не меньше (больше) каких-либо заданных величин. Идея рассматриваемого метода заключается в том, что частные критерии обычно неравнозначны между собой (одни из них более важны, чем другие) и это позволяет выделить главный критерий, а остальные переводятся в разряд ограничений, что позволяет переформулировать задачу многокритериальной оптимизации на задачу нахождения условного экстремума главного критерия.

3.2. Метод последовательных уступок, согласно которому локальные критерии ранжируются по степени важности. Далее находится наилучшее решение по наиболее важному критерию. Процедура повторяется многократно, пока не будет рассмотрен

последний по важности критерий. При решении такой задачи в начале определяется важность частных критериев, расположив их в порядке убывания важности. Причем главным считается критерий K_1 , менее важным $K_2 \dots, K_n$. Минимизируется первый по важности критерий и определяется его наименьшее значение $K_1 \min$. Процедура продолжается многократно до тех пор, пока не будет совершена минимизация последнего по важности критерия K . В итоге полученное решение считается оптимальным.

4. Методы многокритериального анализа, предусматривающие оценку и сравнения альтернатив, следует производить по нескольким критериям (рис. 1).

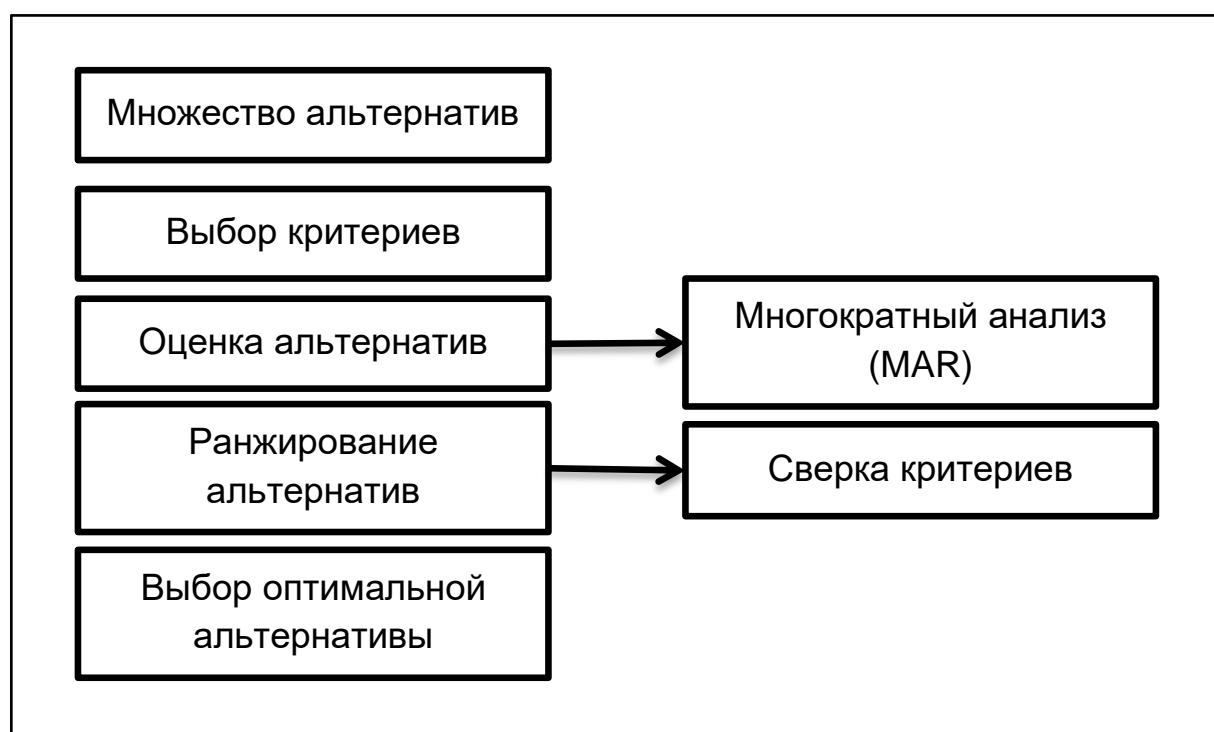


Рис. 1. Схема многокритериального анализа альтернатив

Задача принятия решения состоит в формировании множества возможных альтернативных вариантов, обеспечивающих разрешение проблемной ситуации при существующих ограничениях и выделение среди этих вариантов наилучшего (оптимального).

Представим задачу принятия, решения $Pr(O)$ в формализованном виде

$Z = \{Ф, А, П, У, В\}$, где

Ф - формулирование задачи, включающей содержательное описание проблемы оптимизации антропогенных рисков электроустановок, определения цели и возможность

ее модельного представления;

А - совокупность возможных вариантов (альтернатив), из которых производится выбор;

У - совокупность условий, ограничивающих область допустимых решения данной задачи (ограничение ресурсов и финансовых затрат);

П - совокупность признаков (параметров), описывающих варианты варианты и их отличительные особенности, например, применительно к компоненте «Человек» - состояние здоровья, образование, опыт; к компоненте «Электроустановка» - отказы и аварии; к компоненте «Среда» - микроклимат сельскохозяйственного объекта;

В - предпочтения ЛПР, служащие основой для оценки и сравнения возможных вариантов решения выбора значений антропогенного риска и поиска наилучшего (приемлемого, допустимого, оптимального).

Решение рассматривать рассматриваемой задачи состоит в построении интерактивной процедуры многоуровневого анализа и выбора лучшей альтернативы на основе качественной информации, получаемой экспертным путем о предпочтениях ЛПР, с помощью метода парных сравнений относительно важности критериев. Суть этого метода - процесс сравнения каких-либо объектов в парах для определения важности или предпочтительности каждого из них или установления их идентичности [6, 7].

Рассмотрим метод анализа риска (МАР) как способ визуализации опасности электроустановок сельскохозяйственного объекта. Процедура анализа включает определение различных видов опасных событий и идентификация идентификацию механизма развития опасности от угрозы до наступления критического события - нанесения вреда (морального, материального, экологического).

Одним из рекомендуемых методов анализа антропогенной опасности является «галстук-бабочка», представляющий собой с схематическую процедуру описания и анализа пути развития ОАС от зарождения и идентификации ее источников до возникновения негативных последствий. Метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей (до возникновения ОАС) и анализ последствий, используя дерево событий (после ОАС).

На рис. 2 приведена диаграмма метода, «галстук-бабочка» применительно к опасному событию «Пожар в электроустановке производственного объекта».

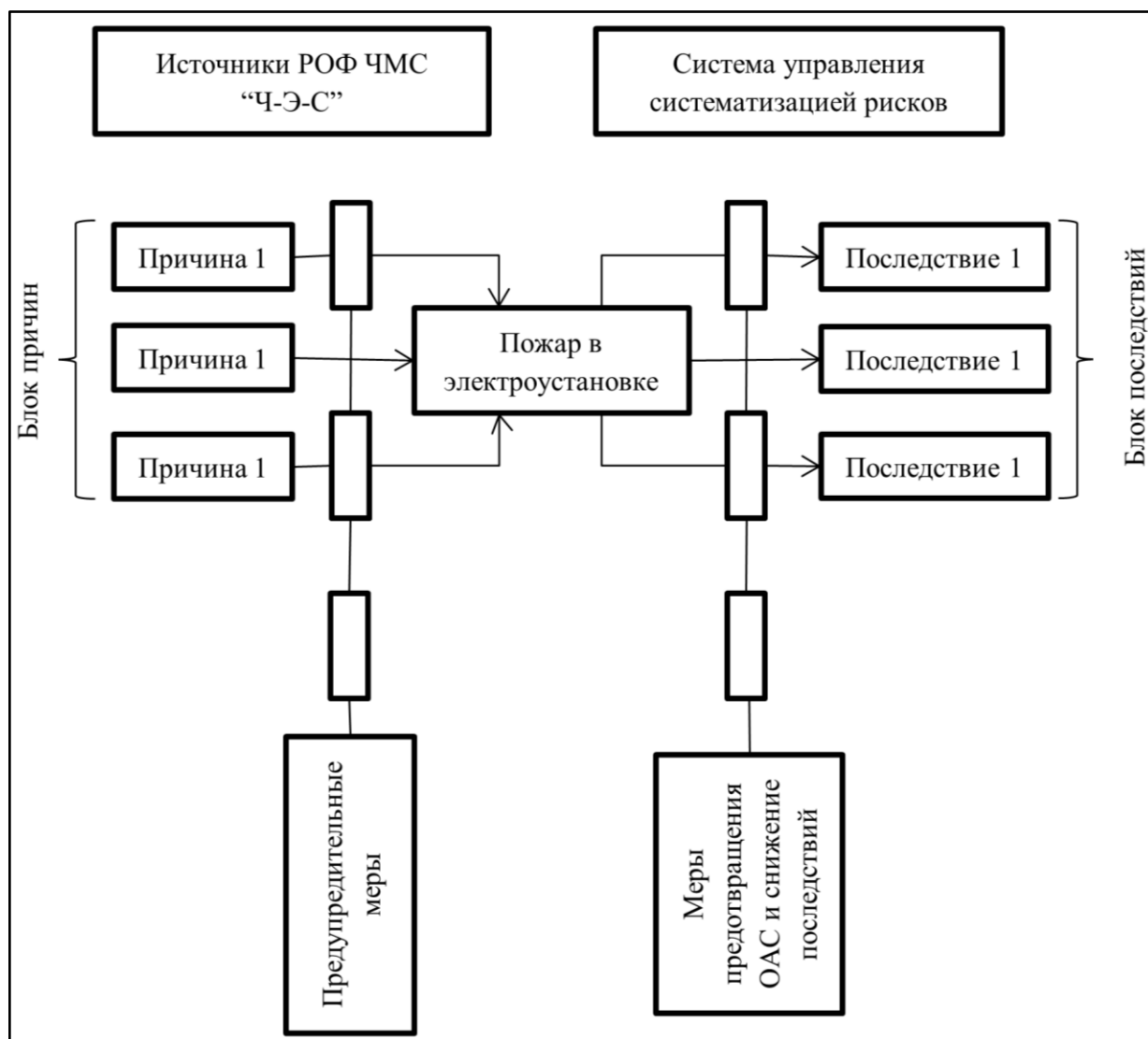


Рис. 2. Диаграмма «Галстук-бабочка»

Здесь «Блок причин» представляет собой источник угроз возникновения ОАС, вызванной:

- а) компонентом «Человек», учитывающим ошибочные действия электротехнического персонала и операторов, опыт работы, образование и др.;
- б) компонентом «Электроустановка» - возникновение отказов и аварий электрооборудования производственного объекта;
- в) компонентом «Среда» - негативное воздействие факторов рабочей и внешней среды, инициирующие возникновение ОАС.

Каждая из рассматриваемых по компонентам ЧМС, составляющих «Блок причин», связаны соответственно с «Блоком последствий». Причем, в зависимости от ограждающих

барьеров «Предупредительные меры» и «Меры предотвращения ОАС и снижение последствий» могут быть как позитивными, так и негативными в зависимости от эффективности функционирования подсистем человекомашиной системы «Ч-Э-С».

Разработанный метод многокритериальной оценки и оптимизации антропогенных рисков опасности электроустановок был реализован путем создания экспертной системы, позволяющей в условиях информационной неопределенности установить причинно-следственные связи между инициирующими событиями (рискообразующими факторами), приводящими к возникновению пожара и его последствий в виде моральных потерь (гибель людей), материальных и экологических ущербов [8-10].

Механизм формирования пожарного риска может быть представлен в виде имитационной модели взаимодействия компонентов ЧМС (персонала, электроустановки и среды), между которыми с помощью нейронных сетей устанавливаются информационные и энергетические связи [11, 12].

Разработанный экспертно-программный комплекс явился основой создания интеллектуальной системы принятия решений в рассматриваемой Пр(О).

По результатам выполненных исследований разработаны методические рекомендации «Оценка и управление пожарными рисками опасности электроустановок на предприятиях АПК», принятые 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. - Vol. 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. - Vol. 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. - Vol. 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. DOI: <https://doi.org/10.51419/202125538>.

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. DOI: <https://doi.org/10.51419/202123305>.

Цитирование:

Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О., Моторин И.А., Усков Е.В. Метод оптимизации антропогенных рисков опасности электроустановок [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_103.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202141103>.