УДК 631.71:621.31

**ПРИНЦИПЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

**Никольский О.К., Шлионская Ю.Д.**

*Российская Федерация, г. Барнаул, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

*Сформирована система поддержки принятия решений для идентификации и моделирования рисков опасности в условиях неопределенности. Рассмотрен алгоритм выбора альтернативных решений в многокритериальной среде. Построена иерархическая структура оптимизации рисков электроустановок объекта.*

*Ключевые слова: мнокритериальная оптимизация, иерархическая структура, ЛПР, рискообразующие факторы, человеко-машинная система «Ч-Э-С».*

*Введение.* Теория многокритериальной оптимизации является основой при разработке методов поддержки принятия решений (ППР) и используется когда выбор решения осуществляется по нескольким критериям. При этом в качестве решения рассматривается недоминирующеемножество в пространстве критериев или парето-эффективное множество в пространстве решений [1, 2].

Принимая во внимание, что все точки недоминируемого множества в пространстве критериев или решений равноценны, главную роль здесь играет ЛПР (лицо, принимающее решение) на основе учета его предпочтений.

Процесс принятия решения включает – а) постановку задачи и поиск информации; б) обоснование выбора критериев; в) построение множества альтернатив и выбор наилучшей. Традиционный подход к оптимизации решения предполагает наличие единственного критерия оценки качества решения [3]. Однако при анализе сложной человеко-машинной системы «Ч-Э-С» возникает необходимость оценивать качество решения по многим критериям. Это связано с тем, что слабоструктуризованные системы содержат качественные компоненты, функционирующие в условиях неопределенности и отсутствия связей между параметрами. Учитывая, что недостаток объективной информации принципиально не устраним на момент принятия решения, появление многокритериальности привело к существенному изменению характера решаемой задачи и роли ЛПР. Основой для выработки решения стала не математическая модель, а субъективные предпочтения ЛПР, определяющие результат решения [4].

*Имитационная модель техногенных процессов в человеко-машинной системе*. В основу определения мероприятий по обеспечению техногенной безопасности объекта положим модель компонентов человеко-машинной системы, представляющую собой иерархию структуры. При этом необходимо учитывать, что на величину риска влияет большое число разнообразных факторов (рискообразующих факторов - РОФ), характеризующих как особенности эксплуатации электроустановок рассматриваемого объета, так и специфические черты опасности, неопределенности и возможностей, в условиях которых осуществляется производственная деятельность предприятия.

Проведено имитационное моделирование на основе логико-лингвистического описания процессов, протекающих в реальном объекте. Модель позволяет провести идентификацию и описание множества переменных состояний во времени. Для обеспечения имитации последовательных событий (зарождение инициирующих условий и предпосылок, нарушение функционирования системы и возникновения опасностей) предусмотрено модельное время, учитывающее динамику дискретного изменения событий. По своей сути имитационная модель отражает процесс функционирования ЧМС «Ч-Э-С» и идентифицируется как комплексное логико-математическое представление системы, реализованное в виде программы для проведения машинных экспериментов [5].

Проведена идентификация рискообразующих факторов и разработана ихклассификация применительно к ЧМС «Ч-Э-С» (рисунок 1). Основные факторы, влияющиена уровень техногенного риска, образуют 40 кластеров. Кластер альтернатив содержит триградации уровня риска (малый, средний и высокий). Малому техногенному рискусоответствуют незначительные изменения режимных параметров работыэлектроустановок. Высокий риск соответствует угрозам аварий, травматизма и пожаров.Средний риск связан снарушениями производственного характера (увеличением потерь и качества электроэнергии потребителей, ухудшением электромагнитной совместимости и др.).

Изображенная иерархия рискообразующих факторов компонентов ЧМС содержит базы знаний, которые представляют в структурируемом виде сведения, факты и правила. изложенные в системе нечеткой логики и логического вывода.



***Рисунок 1 – Иерархическая структура аналитической сети***

Структура аналитической сети содержит четыре уровня иерархии: интегральный рискообразующий фактор учитывает соответствующие группы кластеров по основным компонентам ЧМС ($\overline{Р0Ф}$ч, $\overline{Р0Ф}$э, $\overline{Р0Ф}$с). Группа кластеров $\overline{U}$1... $\overline{U}$nучитывает внешнюю среду (социальные, макроэкономические, правовые и инновационные факторы). Всего в работе учтено 62 фактора риска. Рискообразующие факторы имеют различную физическую природу, получены экспертным путем и представлены в виде логико-лингвистических переменных - (терм-множества)[6].

*Система поддержки принятия решений* позволяет установить качественно-количественные связи между входом X(t) – рискообразующие факторы и выходом Y(t) – интегральным риском ЧМС.

Представим процесс принятия решения оптимизации техногенного риска какциклическую последовательность следующих действий субъекта управления: 1) анализ ситуаций; 2) идентификация проблемы; 3) определение критериев оптимальности; 4) разработка альтернатив; 5) выбор альтернативы; 6) согласование решений и управление реализацией СПР; 7) контроль и оценка результатов[7].

Первый этап предполагает сбор текущей информации о внешнем и внутреннем воздействии, вызванном отклонением от заданного режима функционирования ЧМС «Ч-Э-С».

Второй этап направлен на выявление и формирование целей, ибо слабоструктурируемая ЧМС «Ч-Э-С» не содержит в явном виде очевидных целей и ограничений, альтернативных путей их достижения, предположительных затратах и ожидаемого эффекта.

Третий этап связан с необходимостью определения количественных иликачественных показателей функционирования системы, по которым будет произведеносравнение альтернативных вариантов и выбор наилучшей из них.

Четвертый этап предполагает формирование совокупности возможных решений,то есть выбор той или иной системы техногенной безопасности электроустановок (СТБЭi).

Пятый этап реализуется путем оценки альтернативных вариантов, определениядостоинств и недостатков и последующего анализа возможных результатов реализации.

Шестой этап рассматривается как коллективный процесс, где основная роль отводится ЛПР, который утверждает и несёт ответственность за принятое решение, подлежащее реализации. На этом этапе определяется комплекс необходимых работ итребуемых для их выполнения материальных ресурсов.

Седьмой этап реализует функцию обратной связи на основании выполнениянеобходимых расчетов, опытной проверки и оценки последствий принятых решений.Основной задачей функции контроля является своевременное выявление убывающейэффективности решения, при необходимости его корректировка или принятие нового решения.

Сформирована система поддержки принятия решений для идентификации и моделирования рисков опасности в условиях неопределенности исходных данных. Проведен структурно-функциональный анализ СППР. Показано, что в основу принятия решения целесообразно использовать логико-лингвистические модели в сочетании с методом нечетких множеств, позволяющих описывать компоненты ЧМС в виде формализованных конструкций.

*Концепция многокритериального анализа техногенного риска*. В общем случае многокритериальная оптимизация представляет собой процессодновременной оптимизации двух и более целевых функций в заданной областиопределения. В классической постановке задача оптимизации безопасностиэлектроустановок (являющаяся частным случаем многокритериальной), решается по упрощенной схеме: выбирается главный (доминирующий критерий) - техногенный рискRт, а все остальные показатели (затраты на систему безопасности, остаточный ущерб,компенсационные издержки, экономическая эффективность и т.д.) принимаются вкачестве ограничений. Такой упрощенный подход к решению задачи обеспечениябезопасности электроустановок значительно снижает эффективность принимаемыхрешений. Приведена общая постановка задачи многокритериальной(векторной) оптимизации с критериями разной размерности. При этом возникают определенные методические трудности, обусловленные:а) выбором принципаоптимальности, каждый из которых может приводить к различным оптимальным решениям; б) нормализацией векторного критерия эффективности, вызванной тем, что локальные критерии, являющиеся компонентами вектора эффективности, могут иметь различную физическую интерпретацию и масштаб измерения; в) учетом приоритета, обусловленного различной степенью важности локальных критериев:г) наличиемодновременно качественных и количественных критериев.

Перечисленные трудности многокритериальногоанализа преодолеваются путем разработки интерактивной процедуры, которая предусматривает привлечение необходимой информации от ЛПР, данных об относительной важности критериев [8].

Сформулируем основные положения оптимизации применительно к рассматриваемой предметной области:

- объект оптимизации: человеко-машинная система «Ч-Э-С», как модель производственного предприятия;

- цель: минимизация риска электроустановок объекта путем проведения комплекса превентивных организационно-технических мер и средств обеспечения безопасности человека (персонала, населения) и среды его обитания;

- условия: материальные и финансовые ресурсы, выделенные па достижение результата;

- ограничение: величина средств, отпущенных на внедрение планируемого комплекса организационно-технических мер;

- оценка эффективности оптимизации: выражается в повышении показателей технической и экономической эффективности системы безопасности электроустановок объекта.

На рисунке 2 приведен алгоритм выбора альтернативных решений в многокритериальной среде.

Введем допущение, исключающее случаи, когда выбранное решение обладает наилучшими (оптимальными) значениями по всем рассматриваемым альтернативам. При этом необходимо понять, что собой представляет решение (или приближенное решение) задачи оптимизации сразу по нескольким критериям. Отметим, что выбор оптимального варианта связан с необходимостью решения основной в теории принятия решения проблемы «многих критериев», сводящейся к сопоставлению этих критериев по предпочтению ЛПР – «потеря по одним критериям – выигрыш по другим».

***Рисунок 2 – Алгоритм выбора альтернативных решений в многокритериальной среде***

Рассмотрим множество возможных решений V = {v1, v2, ...,vn}, определяемое количеством вариантов построения ЧМС «Ч-Э-С». Множество V представляет собой некоторую, ограниченную снизу двумя (v' и v''***)*** решениями (чтобы создать ситуацию выбора), а сверху, вводя допущение об ограниченности возможных состояний компонентов человеко-машинной системы, множество возможных решений Vравно восьми [9, 5].

Дано описание функции и характеристика лица, принимающего решение (ЛПР).Показано, что решение многокритериальной задачи из-за несравнимости их вариантов по эффективности практически невозможно без привлечения ЛПР. Отношение предпочтения ЛПР будем рассматривать как этап поиска оптимального решения. Поэтому основная задача ЛПР сводится к получению сведений об относительной важности критериев, представленных в формализованном виде.

Примем два возможных варианта решения v' и v'', полагая, что предпочтение ЛПР отдано первому. Формально это можно представить, как v'≻vv", где символ ≻v называется отношением предпочтения (выбор ЛПР). Тогда отношение предпочтения ≻v на множество возможных решений

f (v') ≻vf (v")⇔v'≻vv" для v' и v" $\in $ V (1)

порождает предпочтение ≻Y на множество возможных векторов Y. Отсюда следует, что вектор Y = f (v') является предпочтением вектора *у" =*f (v"), т.е. у' ≻Y у" в том случае, когда вариант решения v' предпочтительнее варианта решения v", т.е. v' ≻vv".

Изложенное позволяет ввести понятие множество выбираемых решений SelV (selection) из множества возможных решений V. Тогда задачу выбора решения можнопредставить, как нахождение множества SelV, где SelV$\in $v. Последнее дает возможность существенно сузить (уменьшить) множество решений в постановке задачи минимизации риска. Следовательно, задача многокритериального выбора включает в себя три компонента: множество выбираемых решений Sel V; векторный критерий вида F = (fi ); отношение предпочтения ≻v, заданноена множестве возможных решений.

Аналогичную задачу можно представить в ином виде, в терминах векторов: а) множество возможных векторов Yl, Y2...⊂Rm; б) отношение предпочтения ≻Y, заданное на множестве возможных векторов.

Сформулирован принцип Эжворта-Парето, который представляет собой правило выбора оптимального решения техногенного риска при наличии нескольких противоречивых критериев. Согласно этому правилу наилучшее решение следует выбирать среди Парето-оптимальных эффективных (квазиоптимальных) решений. Метод позволяетсформировать множество недоминируемых решений и провести приближенную оптимизацию. Решение такой задачи заключается в отыскании множества выбираемых решений SelV.

Taким образом, изложенное позволяет задачу оптимизации техногенного риска ЧМС «Ч-Э-С» (электрохозяйство производственного объекта) формально представлять в следующем виде: требуется найти из множества выбираемых решений SelV такой вариант альтернативного решения, который бы обеспечивал minRТ→F(f1, …,fi,…, fm), при этом удовлетворял бы ЛПР с учетом планируемого комплекса организационно-технических мер и средств безопасности электроустановок при условии наличия следующих ограничений: (Зполн - полные затраты, включающие расходы на обеспечение безопасности производственного объекта, остаточный неустроненный ущерб от ОТС. среднегодовой экономический эффект, учитывающий предотвращенный материальный ущерб) [5].

Список литературы

1. Евтихиев Н.Н., Карп В.П., Пудова Н.В. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для оптимизации управления в сложноорганизованных динамических объектах // Приборы и системы управления. - № 3. - 1997. - с. 35-40.

2. Емельянов С.В. Многокритериальные методы принятия решений [Текст] / С.В. Емельянов, О.И. Ларичев. - Москва: Знание, 1985. - 183 с.

3. Никольский О.К. Алгоритм управления рисками сельских электрических сетей [Текст] / О.К. Никольский, Н.И. Черкасова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - Барнаул, 2013. -№ 7 (105).-С . 86-90.

4. Ногин В.Д. Определение и общие свойства относительной важности критериев// Процессы управления и устойчивость. — СПб.: Изд-во СпбГУ, 1998. — С. 373-381.

5. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками [Текст]: учебн. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, Т.В. Еремина, А.Ф. Костюков, А.Ф. Калинин, А.Н. Тушев – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015. –219 с.

6. Никольский О.К., Шлионская Ю.Д., Шаныгин И.А. Моделирование техногенных рисков электроустановок производственных объектов на основе анализа человеко-машинных систем// Электротехника, № 12, 2018, С. 37-44.

7. O.K. Nikol'skii. Modeling technology-related risks of electrical plants on production sites by analyzing man-machine systems / O.K. Nikol'skii, Yu.D. Shlionskaya, I.A. Shanygin*//* Russian Electrical Engineering. - 2018. - vol.89, No.12. - P. 707-713.

8. Кини Р.Л., Райфа X. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М.: Радио и связь, 1981.

9. Ногин В.Д., Толстых И.В. Использование набора количественной информации об относительной важности критериев в процессе принятия решений// ЖВМиМФ. - 2000. - 40(11). - с. 1593 - 1601.

10. Никольский О.К., Мартко Е.О., Овечкина Ю.Н. Принципы оценки и управления пожарными рисками в электроустановках производственных объектов. Безопасность жизнедеятельности - М, 2018, №6, - С 31-40.

**Никольский Олег Константинович** – профессор кафедрыэлектрификации производства и бытаАлтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, доктор технических наук, профессор, лауреат премий Правительства РФ в области науки и техники, образования.Nik37Oleg@mail.ru. Тел. 8-905-986-89-49.

**Шлионская Юлия Давидовна** –магистр Алтайского государственного технического университета, младший научный сотрудник. jlash1996@gmail.com. Тел. 8-905-083-05-63.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**PRINCIPLES OF MULTI-CRITERIAL OPTIMIZATION OF ELECTRICAL INSTALLATION SAFETY SYSTEMS**

**Nikolsky O. K., Shlionskaya Y. D.**

*Russian Federation, Barnaul, Polzunov Altai State Technical University*

*A decision support system has been formed to identify and model hazard risks in the face of uncertainty. An algorithm for choosing alternative solutions in a multi-criteria environment is considered. A hierarchical structure for optimizing the risks of electrical installations of the facility is built.*

*Key words: multicriteria optimization, hierarchical structure, decision-making, risk-forming factors, human-machine system "Ch-E-S".*

Bibliography

1. Evtikhiev N.N., Karp V.P., Pudova N.V. Intelligent decision support systems for optimizing control in complex dynamic objects // Instruments and control systems. - No. 3. - 1997. - pp. 35-40.

2. Emelyanov S.V. Multicriteria decision-making methods [Text] / S.V. Emelyanov, O.I. Larichev. - Moscow: Knowledge, 1985. - 183 p.

3. Nikolsky O.K. Risk management algorithm of rural electric networks [Text] / O.K. Nikolsky, N.I. Cherkasova // Bulletin of the Altai State Agrarian University. - Barnaul, 2013.-№ 7 (105). - pp. 86-90.

4. Nogin V.D. Definition and general properties of the relative importance of criteria // Management processes and stability. - St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 1998. - pp. 373-381.

5. Nikolsky O.K. Theory and practice of technogenic risk management [Text]: textbook. allowance for students. higher textbook. institutions / O.K. Nikolsky, N.P. Vorobyov, T.V. Eremina, A.F. Kostyukov, A.F. Kalinin, A.N. Tushev - Barnaul, Altai State Technical University Publishing House, 2015. – 219 p.

6. Nikolsky O.K., Shlionskaya Yu.D., Shanygin I.A. Modeling of technogenic risks of electrical installations of production facilities based on the analysis of human-machine systems // Electrical Engineering, No. 12, 2018, pp. 37-44.

7. O.K. Nikol'skii. Modeling technology-related risks of electrical plants on production sites by analyzing man-machine systems / O.K. Nikol'skii, Yu.D. Shlionskaya, I.A. Shanygin*//* Russian Electrical Engineering. - 2018. - vol.89, No.12. - pp. 707-713.

8. Kini R.L., Raifa X. Decision making under many criteria: preferences and substitutions. - M.: Radio and Communications, 1981.

9. Nogin V.D., Tolstykh I.V. Using a set of quantitative information on the relative importance of criteria in decision-making // ZhVMiMF. - 2000. - 40 (11). - pp. 1593 - 1601.

10. Nikolsky O.K., Martko E.O., Ovechkina Yu.N. Principles for assessing and managing fire risks in electrical installations of production facilities. Life Safety - M, 2018, No. 6, - pp. 31-40.

**Nikolsky Oleg Konstantinovich** – Professor of the Department «Electrification of production and life» of Polzunov Altai State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of Prizes of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, education. Nik37Oleg@mail.ru. Tel. 8-905-986-89-49.

**ShlionskayaYuliaDavidovna** – Master of Polzunov Altai State Technical University, Junior Researcher. jlash1996@gmail.com. Tel. 8-905-083-05-63.