Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 621.31

Математические модели многокритериальной оптимизации рисков электроустановок

Никольский О.К.[1], Халина Т.М.[1], Фараносов В.В.[1], Суринский Д.О.[2]

[1]Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

[2]Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Аннотация

В настоящее время находят широкое практическое использование автоматизированные системы контроля, диагностирования и управления антропогенными процессами в человекомашинных системах (ЧМС), что потребовало построение научно-обоснованных принципов создания основ поддержки принятия решений (ОППР) с участием в системе лиц, принимающих решения (ЛПР).

Учет человеческого фактора возможен при наличии в структуре ЧМС «Ч-Э-С» инструментов анализа альтернативных вариантов взаимодействия компонентов системы с различной физической природой и средств их измерения. При этом желательно выработать количественные методы прогнозирования поведения оператора (электротехнический персонал) на возможные угрозы и опасности, возникающие при эксплуатации электротехнического оборудования на производственном объекте. В этом случае моделирование обычно позволяет найти эффективные решения как при проектировании систем, так и на этапе экспериментальных и опытных проверок.

Ключевые слова: ТОКИ УТЕЧКИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ, ТЕХНОГЕННЫЕ ПОЖАРЫ, ТЕПЛОВАЯ ПЕРЕГРУЗКА, ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА

Известно [1, 2], что методы многокритериальной оптимизации являются математической основой системы поддержкой принятия решений (СППР) и используются в том случае, когда выбор решения осуществляется по нескольким критериям.

При эксплуатации технологического оборудования на объектах аграрной отрасли приходится принимать во внимание ряд основных критериев, учитывающих надёжность,

безопасность и экономичность. Причем, критерий, обусловленной надежностью, предполагает, как качество работы технологического оборудования, так и уровень квалификации электротехнического персонала (человеческий фактор). Выбор критериев оптимальности антропогенных рисков (АПР) представляет собой самостоятельную задачу, зависящую от многих факторов. Сложность многокритериальных задач состоит в том, что критерии разнородны (имеют различную физическую природу и различные единицы измерения), а также характеризуются противоречивостью. Отмеченное в той же мере относится к рассматриваемой в человекомашинной системе [3] с компонентами: человек, электроустановка, среда. Поэтому выбор критериев оптимальности АПР отнесем к многокритериальным задачам, где в традиционной постановке все критерии, кроме доминирующего, рассматриваются в качестве ограничения [4].

Сформулируем принцип построения алгоритма выбора альтернативных решений на основе квазиоптимизации, сущность которого состоит в нахождении приближенного решения, при котором значение каждого частного критерия, описывающего состояние человекомашинной системы, не являются наилучшими. Решение этой задачи сводится к поиску наилучшего варианта, удовлетворяющего нескольким несводимым друг другу критериям. В качестве примера рассмотрим задачу с двумя критериями F_1 и F_2. Здесь возможны следующие варианты: 1) критерии F_1 приоритетнее, чем критерий F_2; 2) критерии F_1 и F_2 равнозначны в условиях рассматриваемой задачи. Полагая, что решение многокритериальной задачи связано с наличием противоречивых целей, представим оптимизационную задачу выборе АПР со многими критериями в виде:

$$F[x] = \{f_1(x), \dots, f_n(x)\}\, max, x \in X, \text{где } X = (x_1, \dots, x_n), X \in R^n \qquad (1)$$

Множество X допустимых вариантов (решений) является областью n-мерного пространства R^n – пространство альтернатив.

Напомним, что в отличии от однокритериальных задач многокритериальный подход обладает специфическими признаками, требующие для их решения учёт следующего [5]:

1. В многокритериальных задачах выбранные критерии обычно конфликтны, т.е. не существуют решения, которое лучше других решений из рассматриваемого множества X с точки зрения всех критериев.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

2. Сформированная совокупность критериев применительно к ЧМС, как уже отмечалось, имеет различную физическую природу и измеряется в различных единицах, что делает простое сравнение, например, критериев f_i и f_j при $i \neq j$ бессмысленным. Поэтому все исходные критерии приводят к сопоставимому виду путем их нормализации $(i = 1, \overline{m}), \tilde{f} = f_i / f_j$.

3. Для решения задачи многокритериальной оптимизации необходимо привлечь дополнительную информацию, связанную с установлением предпочтения или установлением степени важности критериев, представленных в формализованном виде. При этом отметим, что решение многокритериальной задачи невозможно без привлечения лица, принимающего решение (ЛПР).

При моделировании человекомашинной системы «Ч-Э-С» важным является оценка стратегии с точки зрения различных критериев. Одним из основных подходов многокритериальной оптимизации является принцип Парето [5], согласно которому возможные решения многокритериальных задач находятся среди наилучших вариантов (альтернатив), т.е. вариантов, улучшение которых по одним критериям приводит к ухудшению по другим критериям.

Сформулируем основные принципы проведения оптимизации по Парето:

1. Любые описания реальных процессов являются приближенными, например, функционирования электроустановки можно рассматривать как части человекомашинной системы «Ч-Э-С».

2. При наличии нескольких альтернатив ставится задача найти наилучшую при определенном критерии, т.е. найти оптимальное решение задачи.

3. Оптимизация может приводиться сразу по нескольким критериям, в основе которой лежит принцип недоминируемой альтернативы, что означает – улучшение решения по одному какому-либо критерию допустимо и оправдано лишь в случае, когда наряду с этим не происходит ухудшение решения хотя бы по одному другому критерию. Другими словами, каждое решение, принадлежащее множеству Парето, лучше других из этого множества по каким-то одним и хуже по другим критериям.

При моделировании человекомашинной системы «Ч-Э-С» [6, 7] важным является оценка стратегия поиска с точки зрения различных критериев. Одним из основных

подходов, используемых в многокритериальной оптимизации, является аппроксимация границ Парето-множества допустимых значений и её визуализация.

Согласно принципу Эджворта-Парето, который представляет собой правило выбора оптимального решения антропогенного риска при наличии нескольких противоречивых критериев, проведем приближенную оптимизацию, сформировав множество недоминируемых решений. При этом будем допускать, что альтернатива A_i является доминирующей по отношению к альтернативе A_j, если по всем критериям оценки альтернатива A_i не хуже альтернативы A_j, а хотя бы по одному критерию оценка A_i лучше, т.е. решение A_i лучше (предпочтительнее) решению A_j. При этом оценка A_j является доминирующей.

Сформулируем основные положения многокритериальной оптимизации применительно к рассматриваемой области Пр (O). [8, 9]:

— объект оптимизации: человек-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 на 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 рис. 1 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».

Рассмотрим множество возможных решений $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, определяемое количеством вариантов построения ЧМС «Ч-Э-С». V представляет собой некоторое множество, ограниченное снизу двумя (v' и v'') решениями (чтобы создать ситуацию выбора), а сверху, вводя допущение об ограниченности возможных состояний компонентов человекомашинной системы, множество возможных решений V примем равным восьми.

Дано описание функции и характеристика лица, принимающего решение. 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 $v' > v\ v''$, где символ> v называется отношением предпочтения (выбор ЛПР).

Тогда отношение предпочтения> v на множество возможных решений

$$f(v') >v\ f(v'') \Leftrightarrow v' >v\ v'' \text{ для } v' \text{ и } v'' \in V \quad (1)$$

порождает предпочтение >Y на множество возможных векторов Y. Отсюда следует, что вектор $Y = f(v')$ является предпочтением вектора y" = $f(v'')$, т.е. y' >Y y" в том случае, когда вариант решения v' предпочтительнее варианту решения v'', т.е. $v' >v\ v''$ (здесь рассматривается отношение нестрогого предпочтения $>v$ являющегося бинарным полным линейным на пространстве *X).*

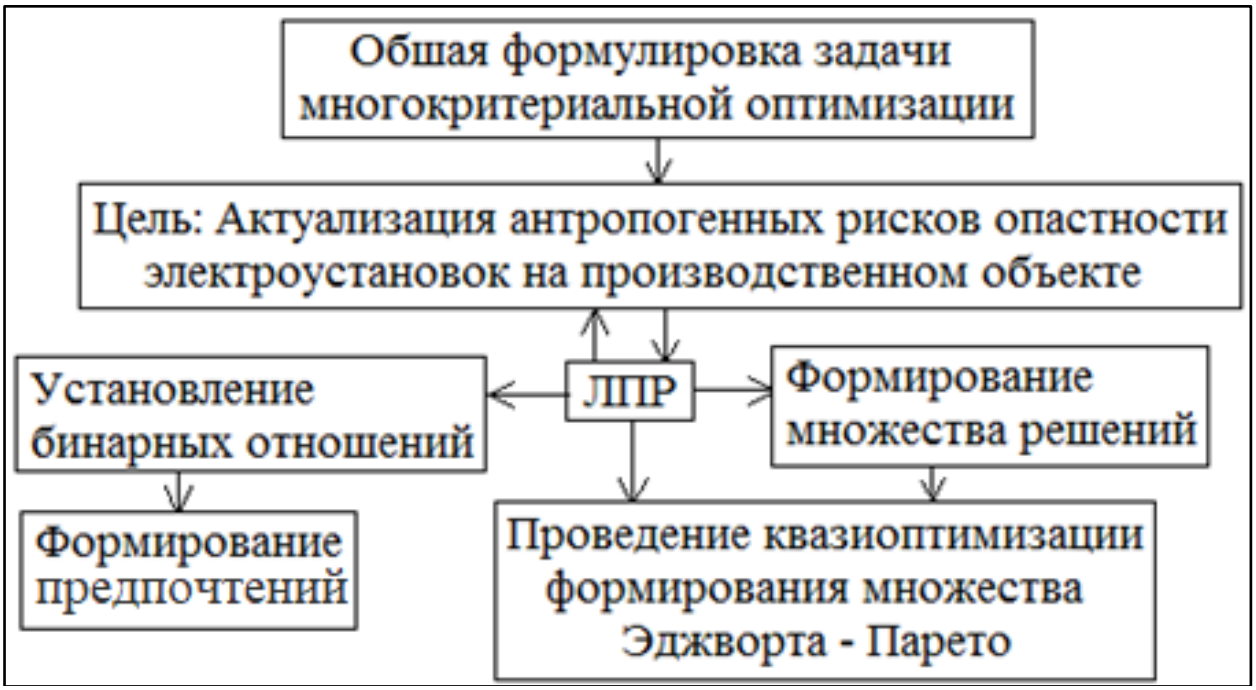

Рис. 1. Алгоритм выбора альтернативных решений в многокритериальной среде

Изложенное позволяет ввести понятие множество выбираемых решений из множества возможных решений *V*. Последнее дает возможность существенно сузить (уменьшить) множество решений в постановке задачи минимизации риска. Следовательно, задача многокритериального выбора включает в себя два компонента: множество выбираемых решений и отношение предпочтения> v заданное на множестве возможных решений.

Сформулирован принцип Эджворта-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 позволяет сформировать множество недоминируемых решений и провести приближенную оптимизацию. Решение такой задачи заключается в отыскивании множества выбираемых решений.

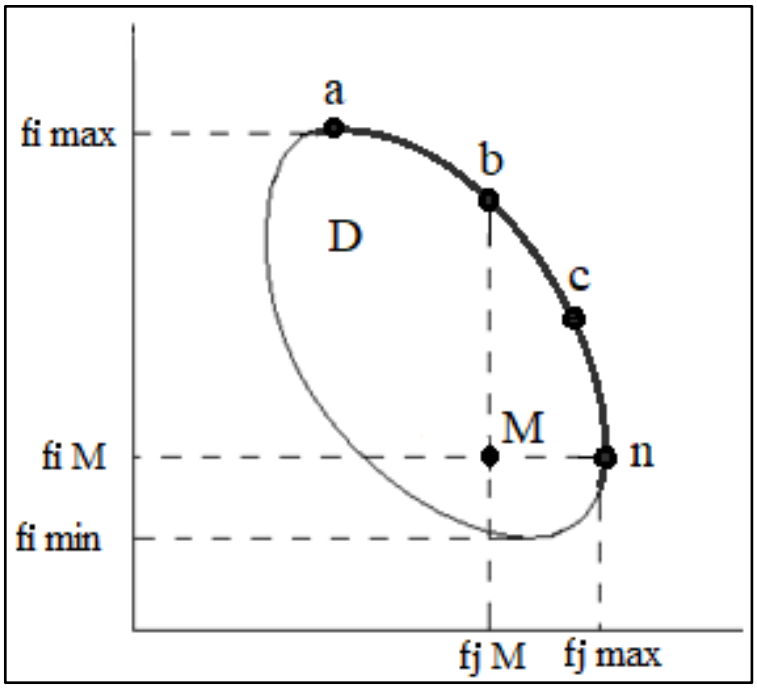

Рис. 2. Графический способ построения множеств Парето, при выпуклой области D допустимых значений *x*

Проиллюстрируем построенный график на примере двух критериев f_i и f_j, которые соответствуют переменной *x*.

Здесь точка *M* начальная некоторая альтернатива со значением f_iM и f_jM. Переход из точки M в одну из точек кривой в *n* означает улучшение решения хотя бы по одному критерию без ухудшения по-другому. Все промежуточные точки кривой в *n* лучше точек внутри области по обоим критериям совместно. Однако переход из точки *b* в точку *n* или наоборот невозможен без ухудшения одного из критериев. Поэтому все решения, соответствующие точкам кривой в *n*, принадлежат множеству Парето-оптимальных решений.

Выводы

1. Теория многокритериальной оптимизации является основой при разработке методов поддержки принятия решений в задачах оптимизации антропогенных рисков эксплуатации электроустановок в том случае, когда выбор альтернатив осуществляется по нескольким критериям.

2. Использованы методы принятия решений, позволяющие с помощью ЛПР провести процедуру выбора Парето-эффективного множества в пространстве решений.

3. Разработана модель и алгоритм многокритериальной оптимизации АПР, позволяющие по принятым критериям осуществить Парето-оптимизацию путем сужения множества с учетом предпочтений ЛПР.

Список использованных источников:

1. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. М.: ФИЗМАЛИТ, 2004. – 176 с.
2. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 64 с.
3. Никольский О.К., Качесова Л.Ю., Шанегин И.А. Математическая модель оценки управления рисками аварии в системах электроснабжения: Электрооборудование: Эксплуатация и ремонт. - 2018. - № 11. - С. 72–77.
4. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. - М.: Наука, 1986. – 296 с.
5. Денисова Л.А. Многокритериальная оптимизация на основе генетических алгоритмов при синтезе систем управления. - М.: ОмГТУ, 2014. – 168 с.
6. Федоренко И.Я. Численный метод построения множества Парето при использовании уравнений регрессии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11 (99). – С. 99–103.
7. Никольский О.К. и др. Моделирование техногенных рисков электроустановок производственных объектов на основе анализа человеко-машинных систем // Электротехника. – 2018. - № 12. - С. 37–44.
8. 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. DOI: https://doi.org/10.51419/202125538.
9. 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.

==========

Цитирование:

Никольский О.К., Халина Т.М., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Математические модели многокритериальной оптимизации рисков электроустановок [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_317.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202133317.