

nauchno-tehnicheskoi konferentsii: 15-25 aprelya 2014 g., Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet. Sait: <http://conf.sfu-kras.ru/conf/mn2014/>.

7. Bugaev A.S., Elgina G.A., Tsupin A.A., Slobodyan S.M. Phase analysis of inductive structure probing // [Digests 9th International Forum on Strategic Technology 2014, October 21-23, 2014. Chittagong University of Engineering and Technology, Bangladesh], in press.

8. Elgina G.A., Ivoylov E.V., Slobodyan S.M. Harmonic diagnostics structures inductive topology // [Digests 9th International Forum on Strategic Technology 2014, October 21-23, 2014. Chittagong University of Engineering and Technology, Bangladesh], in press.

9. Holmes D.G., Lipo T.A. Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice / M.E. El-Hawary, Ed. – New Jersey: IEEE Press. Wiley-Interscience, 2003. – P. 259-381.

10. Kundur P. Power system stability and control. – McGraw Hill: New York, 1994. – 1176 p.

11. Reichert K., Kauferle J., Glavitsch N. Controllable reactor compensator for more extensive utilization of high voltage transmission systems. CIGRE 1974. Rep. 31-04.206.

12. www.transform.ru.

13. Saleh S.H. Diagnosis of mixed eccentricity in 400 kW induction machine based on inspection of stator current spectrums // Renewable Energies and Power Quality. – 2014. – № 12. – P. 12-18.

14. Bellini A., Filippetti F., Franceschini G., Tassoni C., Kliman G.B. Quantitative Evaluation of Induction Motor Broken Bars by Means of Electrical Signature Analysis // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2001. – Vol. 37 (5). – P. 1248-1255.

15. Rusek J. Categorization of Induction Machines Resulting from Their Harmonic-Balance Model // Electromagnetics. – 2003. – Vol. 23. – P. 277-292.

16. Mattavelli P. A closed-loop selective harmonic compensation for active filters // IEEE Trans. on Industry Applications. – 2001. – Vol. 37 (1). – P. 81-89.

17. Tolstov Yu.G., Tevryukov A.A. Teoriya elektricheskikh tsepei. – M.: Vysshaya shkola, 1971. – 296 s.

18. Tavdgiridze L.N., Lobzhanidze L.N., Melkumyan E.V. Preobrazovanie i raschet izmeritel'nykh tsepei s induktivnoi svyaz'yu // Elektrichestvo. – 1974. – № 9. – S. 83-84.



УДК 621.31.658.382.2

А.Ф. Костюков, Н.И. Черкасова, О.К. Никольский
A.F. Kostyukov, N.I. Cherkasova, O.K. Nikolskiy

КРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

RISK MANAGEMENT OF AGRICULTURAL ELECTRIC MAINS

Ключевые слова: интегральный риск, моделирование, оценка риска, ущерб, экспертная оценка.

Целью исследования является создание методов и средств управления техногенными рисками, методологической основой которых служит теория принятия решений (ТПР). Для принятия управленческих решений по минимизации техногенных рисков электроустановок в условиях неопределенности исходных данных необходимы аналитические и информационные инструментари, с помощью которых представляется возможным прогнозировать опасные техногенные ситуации (ОТС) и возможный ущерб от них. Рекомендации по принятию решений, полученных с помощью формальных моделей, можно учитывать лишь в тех случаях, когда предположения, лежащие в основе таких моделей, адекватны объекту исследования и источнику неопределенностей. Это требует рассмотрения алгоритмов информационно-анали-

тической системы принятия решений (ИАСПР). Методология оценки техногенных рисков и многофакторный и многокритериальный анализ на объектах энергетики, в электроустановках зданий находятся на ранней стадии своего развития и, как правило, несут фрагментарный характер. Критерии опасности ЭУ являются основными и должны учитывать накопление потенциальной энергии и неконтролируемый ее выброс. Для получения необходимой информации могут быть использованы статистические данные по аварийности и травматизму, логические методы анализа деревьев, усложняющих причинно-следственные связи, экспертная оценка. В условиях неопределенности целесообразно также использовать ранжирование рисков. Возникающее противоречие между трудоемкостью определения количественных показателей риска и объективной сложностью исследуемой системы (Ч-ЭУ-С) преодолевается с помощью имитационного моделирования процесса возникновения риска аварии, электротравматизма,

пожара. Сущность принятия решения по снижению рисков опасности состоит в информационном обеспечении задачи построения моделей, адекватных реальным условиям функционирования системы (Ч-ЭУ-С).

Keywords: *integral risk, modeling, risk evaluation, damage, expert estimation.*

The research goal is to create methods and management means of technology-related risks methodologically based on the decision theory. To make management decisions on minimization of technology-related risks of electrical installations under the conditions of uncertainty of initial data, analytical and information instruments are necessary to forecast dangerous anthropogenic situations and their possible damages. Recommendations on decision making obtained with the help of formal models may be taken only in such cases when assumptions underlying such models are adequate to the subject of the research and the source of uncertainty. This requires consideration of algorithms of information analysis

system of decision making. Methodology of technology-related risk estimation and multiple-factor and multi-criterion analysis of power engineering facilities and building electric installations are on the early developmental stage and as a rule are of fragmentary nature. Risk criteria of electric installations are basic and should take into account the accumulation of potential energy and its uncontrollable discharge. To obtain necessary information one may use accident records and injury rates, logical methods of tree analysis inferring cause-and-effect relationships and expert estimation. Under the conditions of uncertainty it is reasonable to use risk ranking. Arising contradiction between labor intensiveness of determination of the risk quantitative indicator and objective complexity of the system under consideration is overcome with the help of simulation modeling of the emergence process of the accident risk, electrical injuries and fire. The essence of decision making on risk reduction is in information support of the task of building models that are adequate to real conditions of system functioning.

Костюков Анатолий Федорович, к.т.н., ст. преп., каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-49. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Черкасова Нина Ильинична, к.т.н., зав. каф. «Электроэнергетика», Рубцовский индустриальный институт (филиал), Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Никольский Олег Константинович, д.т.н., проф., зав. каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел. (3852) 36-71-29. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Kostyukov Anatoliy Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-49. E-mail: kostiukovaf@mail.ru.

Cherkasova Nina Ilyinichna, Cand. Tech. Sci., Head, Chair of Electrical Power Engineering, Rubtsovsk Industrial Institute (Branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Nikolskiy Oleg Konstantinovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Production and Household Electrification, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

В настоящее время техногенная ситуация при эксплуатации электроустановок (ЭУ) жилых, общественных и производственных зданий и сооружений представляется критической. Это подтверждают многочисленные случаи электротравматизма населения, пожаров и аварий в системах электроснабжения [1, 2]. **Целью** исследования является создание методов и средств управления техногенными рисками, методологической основой которых служит теория принятия решений (ТПР) [3]. **Задачей** исследования является обоснование управленческих решений (выбор наилучшей альтернативы из числа имеющихся) на этапах анализа, разработки и эксплуатации сложных человеко-машинных систем.

Отличительная особенность ТПР состоит в том, что она позволяет формализовать определенный вид человеческой деятельности, ориентированной на установление наилучшего варианта решения путем определения количественных зависимостей между компонен-

тами системы «человек-электроустановка-среда» и критериями её эффективности.

Из анализа данных таблицы, показывающей эволюцию развития теории принятия решения [4], следует, что для принятия управленческих решений по минимизации техногенных рисков электроустановок в условиях неопределенности исходных данных необходимы аналитические и информационные инструментари, с помощью которых представляется возможным прогнозировать опасные техногенные ситуации (ОТС) и возможный ущерб от них. Вместе с тем рекомендации по принятию решений, полученных с помощью формальных моделей, можно учитывать лишь в тех случаях, когда предположения, лежащие в основе таких моделей, адекватны объекту исследования и источнику неопределенностей. Это в свою очередь требует рассмотрения алгоритмов информационно-аналитической системы принятия решений (ИАСПР).

Название этапа	Характеристика	Область применения
Дескриптивный (описательный)	Процесс выбора решения основывается на методах психологических исследований: люди действуют интуитивно, проявляют непоследовательность и противоречивость в своих суждениях	Исследования в области экономики (рыночные отношения, экономические риски)
Нормативный подход	Попытка определения множества возможных управленческих ситуаций и создание на этой основе множества сценариев; последние утверждаются нормативными документами. Исследования проводятся в условиях определенности (имеется достаточная и достоверная информация). Используются методы оптимальных решений (линейное программирование)	Исследования в области охраны окружающей среды, оценка результатов применения защитных экологических мероприятий с соответствующим программным обеспечением
Прескриптивный подход	Рассчитан на человека с нормальным интеллектом. Исследования проводятся в условиях неопределенности (информация неполная, неточная, недостоверная) или конфликта. Используются системный анализ и синтез, математические методы исследования операции, экспертные системы	Исследования в области сложных человеко-машинных систем. Информация для описания системы представляется с помощью формальных математических моделей (нечетных множеств), т.е. совокупностью объектов недостаточно хорошо различных мыслью или интуицией

В настоящее время система поддержки принятия решений получила широкое применение в задачах охраны окружающей среды. Обзор компьютерных систем поддержки ПР для ликвидации последствий экологических аварий, связанных с загрязнением окружающей среды, представлен в том числе в работах [5, 6].

Вместе с тем методология оценки техногенных рисков и многофакторный и многокритериальный анализ на объектах энергетики, в частности в электроустановках зданий, находятся на ранней стадии своего развития и, как правило, носят фрагментарный характер. Принятие решений по оптимизации техногенных рисков в системах электроснабжения затрудняется следующими факторами:

- сложностью (неясностью) процессов взаимодействия компонентов человеко-машинной системы «Ч-Э-С» различной природы;
- значительностью количества рискообразующих случайных факторов, влияющих на выбор управленческих решений;
- непрерывностью потока энергоэнтропийных «возмущений» в модели, вследствие чего образуется причинная цепь предпосылок (неисправность и отказы электроустановки, ошибочные действия персонала и населения, негативное воздействие внешней среды);
- расплывчатостью целей и наличием разнообразных ограничений, технологического социального и экономического характера.

Учет основных рискообразующих факторов системы (Ч-Э-С), по нашим оценкам, их количество превышает 30, требует применения эффективных информационных технологий. Причем получаемая информация постоянно меняется и не является устойчивой. Это при-

водит к тому, что образуемые знания (база знаний) с течением времени утрачиваются и при повторном возникновении опасных техногенных ситуаций не всегда могут быть использованы. Входные данные в систему (Ч-Э-С) не обладают свойствами полноты, достоверности и четкости. Вследствие чего возможен ущерб от недостаточного и неправильного учета данных. Стремление к улучшению качества входной информации, в том числе за счет увеличения ее объемов, приводит к определенным трудностям для лиц, принимающих решения (ЛПР).

Отмеченные обстоятельства ставят задачу поиска новых подходов, направленных на предупреждения и минимизацию техногенных рисков электроустановок объектов.

Процесс принятия решения в самом общем виде представляет собой циклическую последовательность действий субъекта управления техногенной безопасностью электроустановок и заключается в анализе ситуаций, генерации альтернатив и выборе из них оптимальной, практической реализации принятого решения и организации его выполнения с последующим контролем и оценкой полученных результатов.

При анализе человеко-машинных систем в последние годы получило широкое применение имитационное моделирование [7]. Такое моделирование в известной степени менее чувствительно к неточности, нечеткости и дефициту исходных данных, при этом представляется возможным одновременно учитывать десятки разрозненных (с разной природой) входных факторов.

Ниже излагается концептуальная схема принятия решений по управлению техногенными рисками, имея в виду как снижение

возможности появления ОТС, так и минимизацию потерь и ущербов от них (рис.).

Анализируя содержание этапов ПР, отметим, что в основе исследования человеко-машинной системы (Ч-Э-С) лежит так называемая модельная проблема, связанная с разработкой абстрактного формализованного описания исходной ситуации принятия решения и определения условий, ограничивающих выбор и предпочтения, которым должно удовлетворять оптимальное решение.

Первый этап. Производится общая оценка комплексной техногенной опасности электроустановок объекта. Этот этап позволяет определить наиболее уязвимые области функционирования рассматриваемой системы и определить направление их преодоления.

Второй этап. Определяются основные цели управления техногенными рисками на снижении или их предотвращении. Формулируются задачи, которые необходимо решить путем разработки и реализации соответствующих мероприятий.

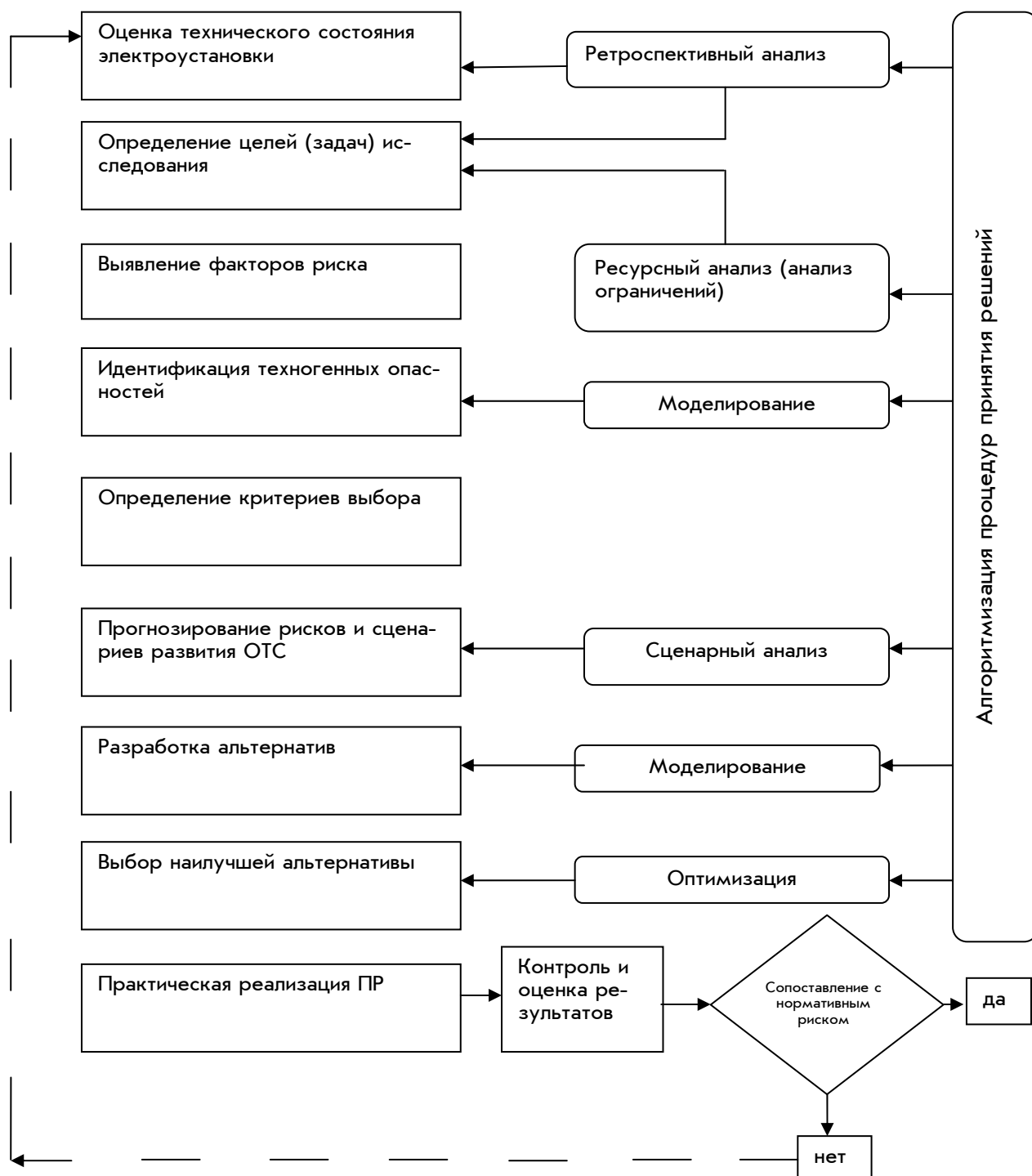


Рис. Блок-схема принятия решений

Третий этап. Формируется перечень рискообразующих факторов компонентов человеко-машинной системы по следующим информационным блокам:

- 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 животных.

Четвертый этап. Обосновываются критерии и система показателей оценки риска. Их выбор должен осуществляться исходя из целей и задач исследования, т.е. критерием эффективности системы (Ч-ЭУ-С) следует считать обеспечение заданного (нормативного) уровня интегрированного риска при минимизации затрат и остаточного ущерба.

Пятый этап. Разрабатывается система сценариев функционирования человеко-машинной системы с учетом динамики возможного изменения внешней среды и неопределенности ее рискообразующих факторов. В этой связи представляется целесообразным введение следующих качественно-количественных индикаторов изменения техногенно-экономической среды (тенденции):

- 1) абсолютно негативная;
- 2) негативная по некоторым рискообразующим факторам;
- 3) стабильная;
- 4) позитивная (благоприятная) динамика.

Этим тенденциям соответствуют возможные сценарии развития: пессимистический, умеренно-пессимистический, стабильный (создающий предпосылки для снижения техногенного риска), оптимистический (соответствующий минимальному значению риска воздействия параметров среды).

Шестой этап. Разрабатывается перечень возможных альтернатив, направленных на снижение риска. Поиск приемлемого варианта связан с решением задачи многокритериальной оптимизации системы безопасности электроустановок.

Седьмой этап. Обосновывается концепция снижения интегрированного риска системы (Ч-ЭУ-С) на основании выбранных критериев, показателей сценариев и альтернатив. В этом случае анализ риска связан с процедурой выявления, оценки и прогнозирования опасности. Целью этой процедуры – получение возможных вариантов решения с характеристикой позитивных и негативных последствий каждого из них.

Восьмой этап. Определяется механизм реализации мероприятий по снижению техно-

генного риска, осуществляются контроль и корректировка выбранной стратегии.

Остановимся на рассмотрении отдельных положений изложенного подхода к построению имитационной модели.

Критерии интегрированного риска электроустановки формируются на основании анализа исходных данных по авариям и их последствиям. При этом приемлемый (допустимое значение) риск может быть задан следующей нормативно технической документацией:

- Правилами устройства электроустановок;
- Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей;
- Нормами пожарной безопасности;
- Строительными Нормами и Правилами.

Критерии опасности ЭУ являются основными и должны учитывать накопление потенциальной энергии и неконтролируемый ее выброс, приводящий к электропоражению, воспламенению и другим негативным происшествиям. Для получения необходимой информации могут быть использованы статистические данные по аварийности и травматизму, логические методы анализа деревьев, устанавливающих причинно-следственные связи, экспертная оценка. В условиях неопределенности целесообразно также использовать ранжирование рисков, например, рассматриваемое событие – электротравматизм – систематизируется по частоте и тяжести последствий с установлением рангов риска, качественных оценок (высокий, незначительный, низкий).

Рассмотрим имитационную модель (ИМ) процесса возникновения опасного техногенного события в системе (Ч-ЭУ-С). Выделим множество рискообразующих факторов по компонентам систем. В общем виде уравнение интегрированного риска можно представить как

$$R = \sum_{i=1}^N [k_i \cdot r_i], \quad (1)$$

где k_i – зависимость показателя при условии, что $(\sum k_i = 1)$.

r_i – показатель, характеризующий рискообразующий фактор;

N – количество рассматриваемых рискообразующих компонентов системы.

Учитывая, что потенциальными опасностями (возмущениями) в системе служит ошибки персонала, отказы в электроустановке и неблагоприятное воздействие среды, выделим три группы рискообразующих факторов.

Используя методы ранжирования или парного сравнения, определим вес (значимость) каждой группы. Принимая допущение о равнозначности факторов и $N = 33$ [8], получаем $K_i = 1/33 = 0,03$. Тогда при определении интегрированного риска и его компонентов в системе (Ч-ЭУ-С) представляется

возможным перейти от лингвистических оценок к количественным аналогам, что позволяет частично снять неопределенность, обусловленную недостаточностью или нечеткостью исходных данных.

Соприкасаясь с неопределенностью, ЛПР может либо получить дополнительную релевантную информацию, например, проведение дополнительных экспериментальных исследований, либо, используя прошлый опыт, суждение и интуицию, идти на взвешенный риск, принимая то или иное решение.

Выводы

1. При анализе человеко-машинных систем и оценки техногенных рисков необходимо учитывать влияние неопределенных факторов различной природы, а также рассматривать возможные сценарии развития опасностей, поиск альтернатив и выбор наилучшей. В этой связи представляется актуальной разработка моделей принятия решений в условиях неопределенности и риска. Эти модели обеспечивают структурирование и обработку информации, тем самым, отчасти, восполняют неполноту и нечеткость исходных данных для ЛПР.

2. Возникающее противоречие между трудоемкостью определения количественных показателей риска и объективной сложностью исследуемой системы (Ч-ЭУ-С) преодолевается с помощью имитационного моделирования процесса возникновения риска аварии, электротравматизма, пожара.

3. Сущность принятия решения по снижению рисков опасности состоит в информационном обеспечении задачи построения моделей, адекватных реальным условиям функционирования системы (Ч-ЭУ-С).

Библиографический список

1. Электротравматизм в российской энергетике (2000-2009 гг.) [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2010.
2. Основы электромагнитной совместимости: учебник для вузов / под ред. Р.Н. Карякина: Алт. гос. тех. ун-тет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2007. – 480 с.

3. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 2008. – 345 с.

4. Zadeh L. Fuzzi sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.

5. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений. – М.: Знание, 1985. – 183 с.

6. Альгин А.П. Риск и его роль в общественной жизни. – М.: Мысль, 1989. – 182 с.

7. Демин В.Ф. Научно-методологические объекты оценки риска // Атомная энергия. – 1999. – Т. 86. – Вып. 1. – С. 46-53.

8. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Изд-во Акад. гражд. защиты МЧС РФ, 1999. – 124 с.

9. Никольский О.К., Воробьев Н.П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф. Метод экспертной оценки интегрированного риска электроустановок 380/220 В // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2.

References

1. Elektrotavmatizm v rossiiskoi energetike (2000-2009 gg.) [Elektronnyi resurs]. – Elektron. dan. – M., 2010.

2. Osnovy elektromagnitnoi sovmestimosti: uchebnik dlya vuzov / pod red. R.N. Karyakina: Alt. gos. tekhn. un-tet im. I.I. Polzunova. – Barnaul, 2007. – 480 s.

3. Fishbern P. Teoriya poleznosti dlya prinyatiya reshenii. – M.: Nauka, 2008. – 345 s.

4. Zadeh L. Fuzzi sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.

5. Emel'yanov S.V., Larichev O.I. Mnogokriterial'nye metody prinyatiya reshenii. – M.: Znanie, 1985. – 183 s.

6. Al'gin A.P. Risk i ego rol' v obshchestvennoi zhizni. – M.: Mysl', 1989. – 182 s.

7. Demin V.F. Nauchno-metodologicheskie ob"ekty otsenki riska // Atomnaya energiya. – 1999. – T. 86. – Vyp. 1. – S. 46-53.

8. Belov P.G. Modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere. – M.: Izd-vo Akad. grazhd. zashchity MChS RF, 1999. – 124 s.

9. Nikol'skii O.K., Vorob'ev N.P., Cherkasova N.I., Kostyukov A.F. Metod ekspertnoi otsenki integrirovannogo riska elektroustanovok 380/220 V // Polzunovskii vestnik. – 2014. – № 2.

