

Библиографический список

1. Березовский Е., Захаренко А., Полин В. Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии // Аграрное обозрение. – 2009. – Режим доступа: <http://agroobzor.ru/zem/a-135.html> (дата обращения 27.06.2018 г.).
2. Игошин А.Н. Повышение экономической эффективности зернопроизводства путем внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственные организации Нижегородской области // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 5 (12). – С. 39-45.
3. Якушев В.П., Лekomтцев П.В., Петрушин А.Ф. Точное земледелие: опыт применения и потенциал развития // Информатика и космос. – 2014. – № 3. – С. 50-56.
4. Шаталина Л.П. Точное земледелие как один из путей к энергосбережению ресурсов в сельскохозяйственном производстве // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 4. – С. 949-953.
5. Авдонина И.А. Точное земледелие – стратегия эффективного развития сельского хозяйства // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2015. – № 14. – С. 5-10.
6. SmartNet | Сеть референчных базовых станций. – Режим доступа: <http://smartnet-ru.com> (дата обращения 27.06.2018 г.).
7. Ненайденко А.С., Поддубный В.И., Валежжанин А.И. Моделирование управления движением колесной сельскохозяйственной машины в режиме реального времени // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 3. – С. 32-38.
8. Ненайденко А.С., Поддубный В.И. Математическое моделирование движения колесной машины в горизонтальной плоскости // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 3. – С. 72-77.

References

1. Berezovskiy Ye., Zakharenko A., Polin V. Vnedrenie tekhnologiy tochnogo zemledeliya: opyt Timiryazevskoy akademii [Elektronnyy resurs] // Zhurnal «Agrarnoe obozrenie». 2009. URL: <http://agroobzor.ru/zem/a-135.html> (data obrashcheniya 27.06.2018 g.).
2. Igoshin A.N. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti zernoproizvodstva putem vnedreniya sistemy tochnogo zemledeliya v selskokhozyaystvennyye organizatsii Nizhegorodskoy oblasti // Vestnik NGIEI. – 2012. – № 5 (12). – S. 39-45.
3. Yakushev V.P., Lekomtsev P.V., Petrushin A.F. Tochnoe zemledelie: opyt primeneniya i potentsial razvitiya // Informatsiya i kosmos. – 2014. – № 3. – S. 50-56.
4. Shatalina L.P. Tochnoe zemledelie kak odin iz putey k energosberezheniyu resursov v selskokhozyaystvennom proizvodstve // APK Rossii. – 2017. – T. 24. – № 4. – S. 949-953.
5. Avdonina I.A. Tochnoe zemledelie – strategiya effektivnogo razvitiya selskogo khozyaystva // Nauchnyy vestnik Tekhnologicheskogo instituta – filiala FGBOU VPO Ulyanovskaya GSKhA im. P.A. Stolypina. – 2015. – № 14. – S. 5-10.
6. SmartNet | Set referentsnykh bazovykh stantsiy [Elektronnyy resurs]. URL: <http://smartnet-ru.com> (data obrashcheniya 27.06.2018 g.).
7. Nenaydenko A.S., Poddubnyy V.I., Valekzhanin A.I. Modelirovanie upravleniya dvizheniem kolesnoy selskokhozyaystvennoy mashiny v rezhime realnogo vremeni // Traktory i selkhoz-mashiny. – 2018. – № 3. – S. 32-38.
8. Nenaydenko A.S., Poddubnyy V.I. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya kolesnoy mashiny v gorizontalnoy ploskosti // Vestnik KrasGAU. – 2018. – № 3. – S. 72-77.



УДК 621.315

Л.Ю. Качесова
L.Yu. Kachesova

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

APPLICATION OF NEURO-FUZZY METHOD TO ESTIMATE TECHNOGENIC RISKS OF ELECTRICAL FACILITIES

Ключевые слова: электроустановка, техногенный риск, нечеткая нейронная сеть, причинно-следственная связь, нечеткая логика, нечеткий логический вывод.

Keywords: electrical facilities, technogenic risk, fuzzy neural networks, cause-and-effect relationship, fuzzy logic, fuzzy logical inference.

Целью исследования является повышение эффективности оценки техногенных рисков электроустановок. Эффективность определяется предлагаемым нейро-нечетким методом, который более точно выполняет оценку техногенных рисков электроустановок. Нейро-нечеткий метод основан на нечеткой нейронной сети, которая учитывает причинно-следственные связи между рискообразующими факторами. Для учета причинно-следственных связей между рискообразующими факторами нечеткая нейронная сеть использует бинарную нечеткую операцию «Приоритетное И». Для оценки техногенных рисков электроустановок с использованием нейро-нечеткого метода было разработано программное обеспечение на языке программирования C#. С помощью разработанного программного обеспечения была проведена оценка техногенного риска опасности «электротравма» на объекте АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» в 2017 г. В результате исследования получили значение техногенного риска опасности «электротравма» с учетом причинно-следственных связей между рискообразующими факторами, равными 0,0001. Полученное число означает частоту рассматриваемого события в год. Согласно нормативно-технической документации это допустимый риск. Также была проведена оценка техногенного риска опасности «электротравма» без учета причинно-следственных связей между рискообразующими факторами, получен риск, равный 0,000001 (приемлемый риск). Анализ электрохозяйства рассматриваемого производственного объекта, проведенный в 2017 г., подтвердил наличие электротравмы. Нейро-нечеткий метод оценки техногенных рисков электроустановок дает более адекватный способ расчета рисков техногенных опасностей производственного объекта по сравнению с методами оценки техногенных рисков электроустановок, не учитывающими причинно-

следственные зависимости между рискообразующими факторами.

The research goal is improve the effectiveness of estimating technogenic risks of electrical facilities. The efficiency is determined by the proposed more accurate neuro-fuzzy method for estimating technogenic risks of electrical equipment. The neuro-fuzzy method is based on a fuzzy neural network that takes into account cause-and-effect relationship between risk factors. To take into account the cause-and-effect relationship between risk factors, fuzzy neural network uses a binary fuzzy operation "Priority AND". To estimate the technogenic risks of electrical facilities by using the neuro-fuzzy method, software was developed in the C# programming language. By using the developed software, the risk of electrical injuries was estimated at a facility of the AO "Setevaya kompaniya Altaykrayenergo" in 2017. The value of technogenic risk of the electrical injury taking into account the cause-and-effect relationship between the risk factors was obtained that amounted to 0.0001. The resulting value means the frequency of the event in question per year. This is an acceptable risk according to the normative and technical documentation. The technogenic risk of electrical injury without taking into account the temporal cause-and-effect relationship between the risks-forming factors was also estimated; the value of risk amounted to 0.000001 (acceptable risk). The analysis of the electrical facilities of the production facility in question was conducted in 2017; the presence of electrical injury risk was confirmed. The neuro-fuzzy method for estimating the technogenic risks of electrical facilities provides a more adequate method for calculating the risks of man-caused hazards of a production facility in comparison with the methods for estimating the technogenic risks of electrical facilities that do not account the cause-and-effect relationship between the risk-forming factors.

Качесова Лариса Юрьевна, ст. преп., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: kachesova_l_u@mail.ru.

Kachesova Larisa Yuryevna, Asst. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: kachesova_l_u@mail.ru.

Введение

На предприятиях агропромышленного комплекса при эксплуатации электроустановок могут возникать опасные техногенные ситуации, такие как аварии, пожары, электротравмы. Опасные техногенные ситуации наносят ущерб как предприятию в целом, так и здоровью работников. Для разработки комплекса мер и рекомендаций по предотвращению опасных техногенных ситуаций необходимо выполнять оценку риска их возникновения, поэтому задача оценки техногенных рисков электроустановок является актуальной. Причинами возникновения опасных техногенных ситуаций на электроустановках могут являться различные факторы. Выделяют три основных типа рискообразующих факторов: человеческий фактор, элект-

роустановка и среда, которые образуют систему «Человек-Электроустановка-Среда» [1].

Задача оценки техногенных рисков относится к задачам области принятия решений в условиях неопределённости. Модель риска техногенной опасности строится на основе информации, которая имеет нечеткий характер, для описания рискообразующих факторов и риска используются как количественные, так и качественные лингвистические характеристики [2].

В проанализированных работах [3-5] для оценки рисков опасных техногенных ситуаций, возникающих при эксплуатации электроустановок, используются методы, основанные на нечетких множествах, нечеткой логике, нечетком логическом выводе, нечетких нейронных сетях [6]. В

этих методах не рассматриваются причинно-следственные связи, которые могут существовать между рискообразующими факторами.

Целью исследования является повышение эффективности оценки техногенных рисков электроустановок. Эффективность определяется предлагаемым нейро-нечетким методом, который более точно выполняет оценку техногенных рисков электроустановок.

Объекты и методы

Объектом исследования являются риски опасных техногенных ситуаций, которые могут возникнуть при эксплуатации электроустановок на предприятиях агропромышленного комплекса.

Для оценки техногенных рисков электроустановок используется нейро-нечеткий метод, который позволяет вычислять риск техногенных опасностей посредством нечеткой нейронной сети, учитывающей причинно-следственные связи между рискообразующими факторами. Для учета причинно-следственных связей между рискообразующими факторами нечеткая нейронная сеть использует бинарную нечеткую операцию «Приоритетное И» [7].

Результаты и их обсуждение

Для расчета техногенных рисков электроустановок с использованием нейро-нечеткого метода было разработано программное обеспечение на языке программирования C#, которое позволило выполнить оценку риска техногенной опасности «электротравма» на объекте АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» в 2017 г.

Для оценки риска техногенной опасности «электротравма» использовались следующие наборы рискообразующих факторов. Набор X (совокупность рискообразующих факторов от компонента «Человек»): X3 – соблюдение техники безопасности, X4 – уровень профессионализма, X7 – ошибки в оперативных решениях. Набор Y (совокупность рискообразующих факторов от компонента «Электроустановка»): Y3 – срок эксплуатации электрооборудования, Y2 – износ изоляционных частей электроустановки, Y1 – возникновение аварийного режима, Y6 – отказ (отсутствие) средств электрозащиты. Y3, Y2, Y1 имеют причинно-следственные связи. Набор Z (совокупность рискообразующих факторов от компонента «Среда»): Z1 – деструктивное воздействие параметров микроклимата, Z3 – диагностика техниче-

ского состояния электрооборудования, Z5 – уровень дискомфорта выполнения работы персоналом, Z4 – возникновение опасных факторов, превышающих критическое значение. Z1, Z3, Z5 имеют причинно-следственные связи.

Терм-множества рискообразующих факторов состоят из трех термов: для X7, Y6, Z4 – это термы «Часто», «Периодически», «Редко»; для X4, Y1, Y2, Z1 – это термы «Низкий», «Средний», «Высокий»; для Y3 – это термы «Большой», «Средний», «Малый»; для Z3 – это термы «Эпизодическая», «Удовлетворительная», «Неудовлетворительная»; для X3, Z5 – это термы «Эпизодическое», «Удовлетворительное», «Хорошее». Техногенный риск электротравмы задается термножеством: пренебрежительный, приемлемый, допустимый, неприемлемый, катастрофический.

Функции принадлежности термов формируются на основе стандартной обобщенной функции Гаусса.

База знаний для оценки техногенной опасности «электротравма» состоит из нечетких правил, которые формируются экспертами, компетентными в области электробезопасности. Пример правила для вычисления риска техногенной опасности «электротравма» от группы рискообразующих факторов компонента «Электроустановка»:

Если «Срок эксплуатации электрооборудования» это «Малый» Ипр «Износ изоляционных частей электроустановки» это «Низкий» Ипр «Возникновение аварийного режима» это «Редко» И «Отказ (отсутствие) средств электрозащиты» это «Редко» ТО «Риск электротравма» = 0,00000001 (Пренебрежительный).

Аналогично экспертами составляются правила для вычисления риска техногенной опасности «электротравма» от группы рискообразующих факторов компонентов «Человек» и «Среда», а также правила для вычисления итогового риска.

Программное обеспечение состоит из шести модулей: модуль для задания лингвистических переменных рискообразующих факторов и техногенного риска, модуль формирования базы правил, модуль для генерации обучающей и тестирующей выборки, модуль для обучения нейро-нечеткой сети, модуль для тестирования нейро-нечеткой сети, модуль вычисления техногенных рисков опасности электроустановок.

Первым этапом работы программы является создание лингвистических переменных рискообразующих факторов и техногенного риска (рис. 1).

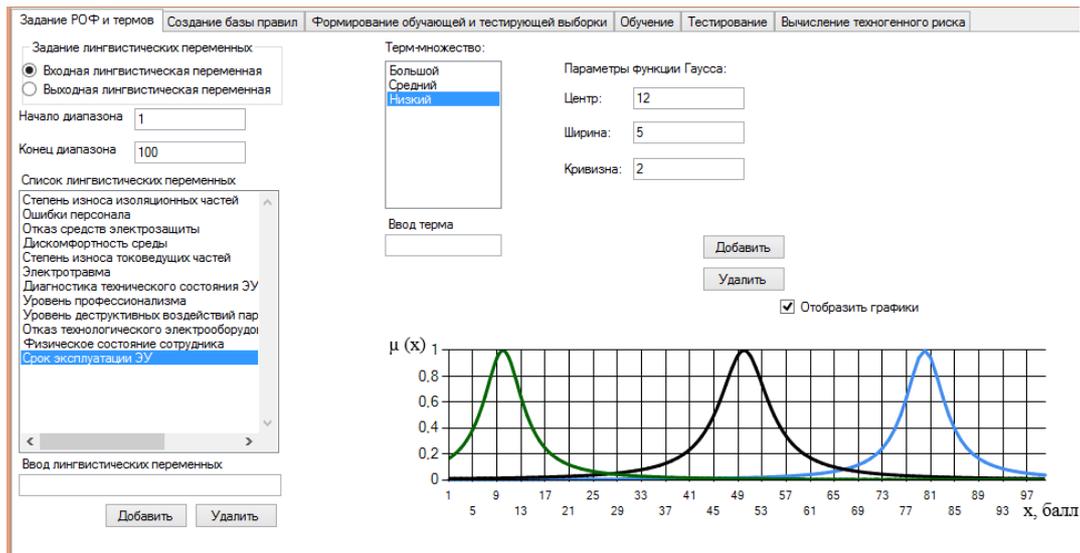


Рис. 1. Создание лингвистических переменных

На втором этапе работы программы задаются правила нечеткого вывода для вычисления риска конкретной техногенной опасности. Данный этап представлен на рисунке 2 (задаются правила для техногенной опасности «электротравма»). На этапе формирования правил изначально задается набор правил и выбирается компонента системы «Человек – Электроустановка – Среда», затем выбираются лингвистические переменные рискующих факторов и их значения из термножеств, операции, устанавливаемые между рискующими факторами, задается выходная переменная техногенного риска.

На третьем этапе происходит формирование обучающих и тестирующих выборок (рис. 3). Для их формирования в программном обеспечении из

представленной базы правил эксперт выбирает конкретное правило, которое разбивается по парам лингвистическая переменная-терм. После выбора пары лингвистическая переменная-терм, рисуется график, отражающий значение рискующего фактора, глядя на который эксперт задает четкое числовое значение. Также задается значение риска опасности для текущего правила.

Пятый этап работы программы – это обучение и тестирование нейро-нечеткой сети (рис. 4).

После обучения и тестирования нейро-нечеткой сети происходит вычисление риска техногенной опасности. На рисунке 5 показан результат вычисления риска техногенной опасности «электротравма».

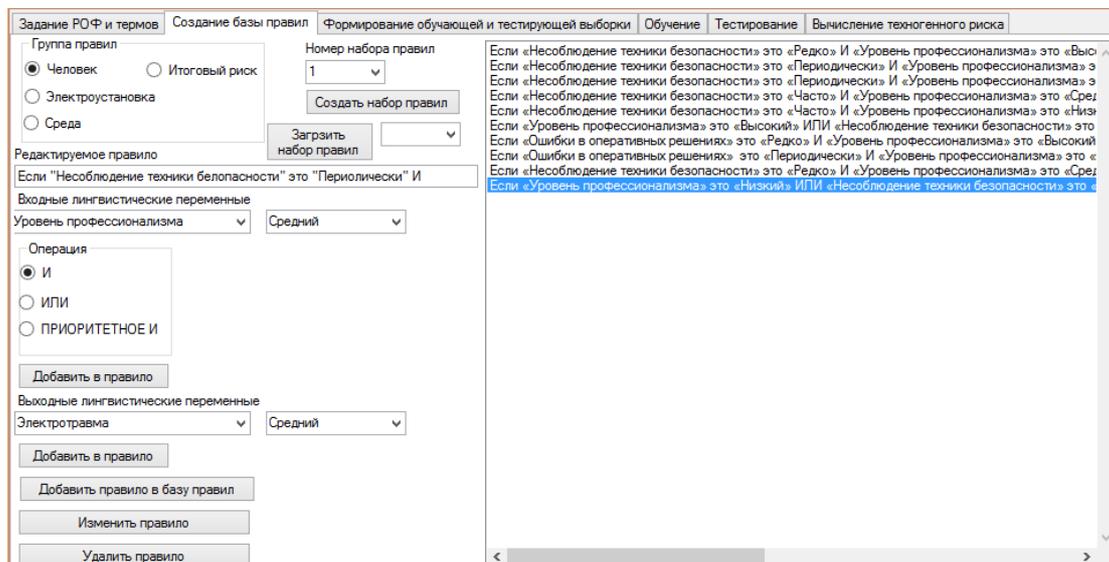


Рис. 2. Задание правил нечеткого вывода

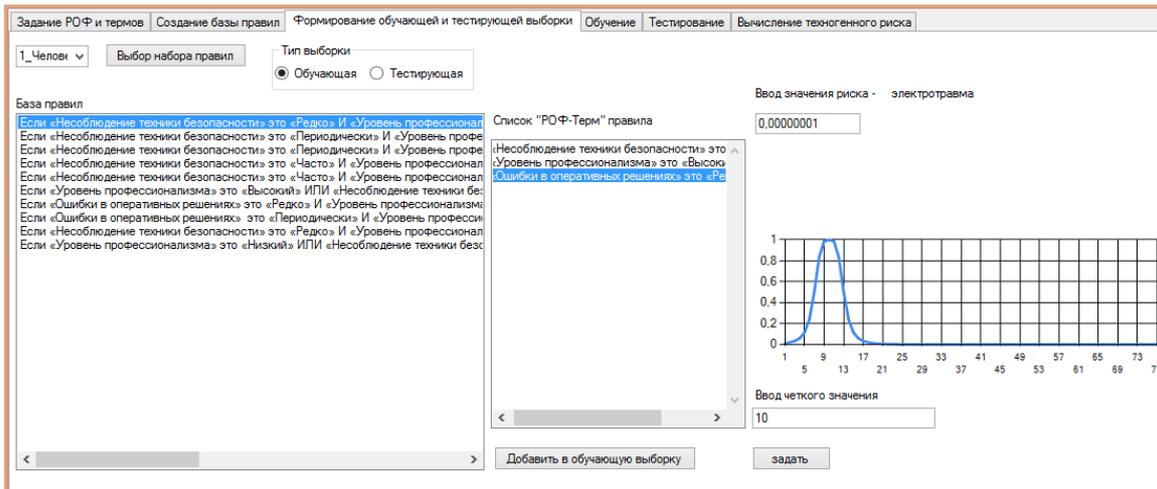


Рис. 3. Формирование обучающих и тестирующих выборок

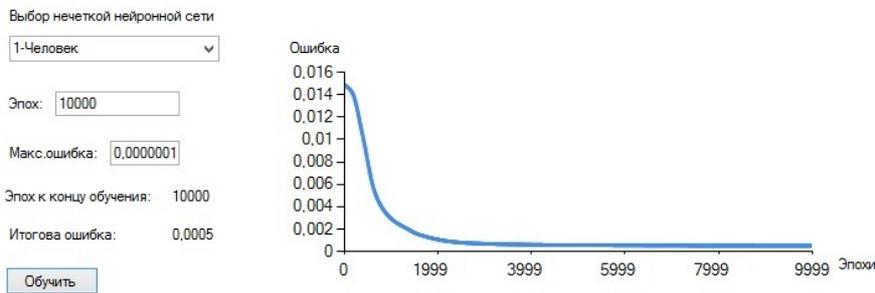


Рис. 4. Обучение нейро-нечеткой сети

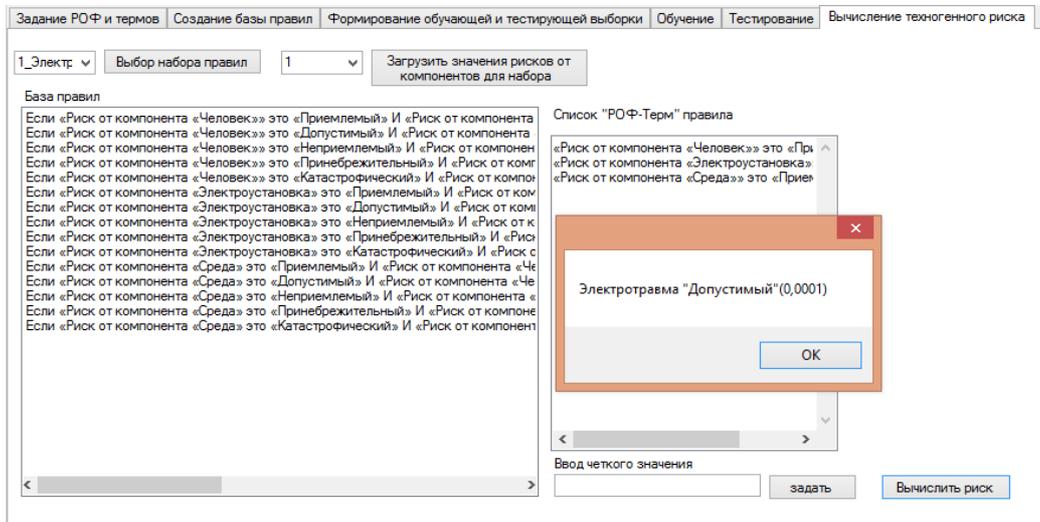


Рис. 5. Вычисление риска опасности «электротравма»

В результате исследования получили значение техногенного риска опасности «электротравма» с учетом причинно-следственных связей между рискообразующими факторами, равными 0,0001. Полученное число означает частоту рассматриваемого события в год. Это допустимый риск согласно нормативно-технической документации. Также была проведена оценка техногенного риска опасности «электротравма» без учета причинно-следственных связей между рискообразующими

факторами, получен риск, равный 0,000001 (приемлемый риск). Анализ электрохозяйства рассматриваемого производственного объекта, проведенный в 2017 г. подтвердил наличие электротравм.

Заключение

Результаты исследований на основе разработанного программного обеспечения показали, что оценка техногенных рисков электроустановок, выполненная на основе нейро-нечеткого метода,

учитывающего причинно-следственные связи между рискообразующими факторами, дает более точный способ расчета техногенных рисков сравнительно с оценкой техногенных рисков на основе нечеткой нейронной сети, не учитывающей причинно-следственные связи между рискообразующими факторами.

Библиографический список

1. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.

2. Черкасова Н.И., Костюков А.Ф., Никольский О.К. Проблема неопределенности при анализе рисков электроустановок // Ползуновский вестник. – 2014. – Т. 1. – № 4. – С. 140-146.

3. Никольский О.К., Воробьев Н.П. Технология управления рисками опасности электроустановок на предприятиях АПК // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: матер. XII Междунар. науч.-практ. интернет-конференции / под ред. докт. техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, докт. техн. наук, проф. А.Н. Качанова, докт. техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2016. – С. 191-199.

4. Еремина Т.В., Калинин А.Ф. Методология оценки интегрального риска опасности электроустановок объектов агропромышленного комплекса // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6. – С. 103-108.

5. Подобная Ю.Ю. Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики на основе лингвистического моделирования. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/otsenka-riska-vozniknoveniya-avariynykh-situatsii-na-obektakh-elektroenergetiki-na-osnove-li>.

6. Kailan Shang, Zakir Hossen Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making//CAS/CIA/SOA Joint Risk Management Section 2013. Available online: <https://web.actuaries.ie/sites/default/files/erm-resources/research-2013-fuzzy-logic.pdf> (accessed on 12 July 2018).

7. Юрченкова И.В., Качесова Л.Ю., Тушев А.Н. Разработка математической модели для оценки и управления техногенными рисками системы «человек-электроустановка-среда» на основе нейронных сетей // Наука и молодежь – 2018: XV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция «Информационные технологии». Подсекция «Информатика, вычисли-

тельная техника и информационная безопасность» / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 117 с. – С. 114-117.

References

1. Nikolskiy O.K. Teoriya i praktika upravleniya tekhnogennymi riskami. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2015. – 219 s.

2. Cherkasova N.I., Kostyukov A.F., Nikolskiy O.K. Problema neopredelennosti pri analize riskov elektroustanovok // Polzunovskiy vestnik. – 2014. – T. 1, № 4. – S. 140-146.

3. Nikolskiy O.K., Vorobev N.P. Tekhnologiya upravleniya riskami opasnosti elektroustanovok na predpriyatiyakh APK // Energo- i resursosberezhenie - XXI vek.: materialy XII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii / pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. O.V. Pilipenko, d-ra tekhn. nauk, prof. A.N. Kachanova, d-ra tekhn. nauk, prof. Yu.S. Stepanova. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2016. – S. 191-199.

4. Yeremina T.V., Kalinin A.F. Metodologiya otsenki integralnogo riska opasnosti elektroustanovok obektov agropromyshlennogo kompleksa // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 6. – S. 103-108.

5. Podobnaya Yu.Yu. Otsenka riska vozniknoveniya avariynykh situatsiy na obektakh elektroenergetiki na osnove lingvisticheskogo modelirovaniya [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.dissercat.com/content/otsenka-riska-vozniknoveniya-avariynykh-situatsii-na-obektakh-elektroenergetiki-na-osnove-li>.

6. Kailan Shang, Zakir Hossen Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making // CAS/CIA/SOA Joint Risk Management Section 2013. Available online: <https://web.actuaries.ie/sites/default/files/erm-resources/research-2013-fuzzy-logic.pdf>. (accessed on 12 July 2018).

7. Yurchenkova I.V., Kachesova L.Yu., Tushhev A.N. Razrabotka matematicheskoy modeli dlya otsenki i upravleniya tekhnogennymi riskami sistemy «chelovek-elektroustanovka-sreda» na osnove neyronnykh setey // XV Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Nauka i molodezh - 2018". Sektsiya «Informatsionnye tekhnologii». Podseksiya «Informatika, vychislitel'naya tekhnika i informatsionnaya bezopasnost» / Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2018. – S. 114-117.