

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Пеганов Н.В.¹, Туманов В.А.², Лусникова В.М.³ Email: Peganov638@scientifictext.ru

¹Пеганов Николай Васильевич – магистр,
кафедра безопасности жизнедеятельности,
Высшая школа техносферной безопасности
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

²Туманов Владимир Александрович – студент,
кафедра технологии лесозаготовительных производств,
Институт технологических машин и транспорта леса;

³Лусникова Вероника Михайловна – студент,
кафедра садово-паркового и ландшафтного строительства,
Институт ландшафтной архитектуры, строительства и обработки древесины
Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: в статье анализируется возможность применения математической модели оценки риска чрезвычайной ситуации техногенного характера на пожароопасных объектах лесной промышленности на основе искусственных нейронных сетей. Математическая модель адаптирована под интегральную модель развития чрезвычайной ситуации - техногенного пожара. В ходе работы проведена адаптация искусственных нейросетей в современные системы безопасности лесной промышленности в качестве инструментов оценки и прогнозирования при принятии управленческого решения.

Ключевые слова: нейронная сеть, чрезвычайная ситуация, оценка рисков.

MATHEMATICAL MODEL OF ESTIMATION OF RISK OF EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC CHARACTER ON FIRE-PROOF OBJECTS OF FOREST INDUSTRY BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Peganov N.V.¹, Tumanov V.A.², Lusnikova V.M.³

¹Peganov Nikolai Vasilyevich - Master,
DEPARTMENT SAFETY OF LIFE,
HIGHER SCHOOL OF TECHNOSPHERE SECURITY,
PETER THE GREAT ST.PETERSBURG POLYTECHNIC UNIVERSITY;

²Tumanov Vladimir Alexandrovich - Student,
DEPARTMENT OF LOGGING TECHNOLOGIES,
INSTITUTE OF TECHNOLOGICAL MACHINES AND TRANSPORT OF FOREST;

³Lusnikova Veronika Mikhailovna - Student,
DEPARTMENT OF LANDSCAPE, LANDSCAPE AND LANDSCAPE CONSTRUCTION,
INSTITUTE OF LANDSCAPE ARCHITECTURE, CONSTRUCTION AND PROCESSING OF WOOD
SAINT PETERSBURG STATE FOREST TECHNICAL UNIVERSITY,
ST. PETERSBURG

Abstract: the article analyzes the possibility of applying a mathematical model for assessing the risk of an emergency situation of anthropogenic nature in fire hazardous objects of the forest industry on the basis of artificial neural networks. The mathematical model is adapted to the integral model of the development of an emergency situation - man-made fire. In the course of the work, the artificial neural networks were adapted to modern forest industry security systems as tools for assessment and forecasting when making managerial decisions.

Keywords: neural network, emergency situation, risk assessment.

УДК 004.94

Современные методы оценки риска — комплекс всех возможных методик по оценке, анализу и обеспечению безопасности определенного объекта. На данный момент количество известных методов исчисляется десятками, однако, не все из них нашли практическое применение, так и оставшись лишь гипотетической моделью по отношению к обеспечению безопасности. Помимо этого, стоит отметить, что проблемой является и то, что далеко не все существующие современные знания применены в рассматриваемой области. Так, к примеру, большим толчком к развитию системы обеспечения безопасности стало появление оценки риска [1, 2], основанной на теории вероятности. Следовательно,

можно сделать вывод, что любое перспективное направление из смежной или даже параллельной области сможет дать импульс к дальнейшему развитию теории обеспечения безопасности. Подтверждением этого является широкая интеграция в безопасность самых передовых идей: современные интегрированные системы безопасности [3], основанные на программно-аппаратном комплексе; применение математического анализа в области надежности. Несмотря на большое количество методов, качество оценки риска все еще не на достаточном уровне, поэтому требуется рассмотрение принципиально новых для этой сферы методов. К таковым можно отнести и адаптацию искусственных нейронных сетей, далее - ИНС.

Целью данной работы является повышение качества оценки риска чрезвычайных ситуаций на опасных объектах лесной промышленности путем адаптации искусственных нейронных сетей (ИНС) в современные системы безопасности.

Задачи, поставленные для реализации вышеописанной цели, следующие:

анализ понятия искусственных нейронных сетей, их архитектура;

адаптация нейронной сети, путем применения интегральной модели развития чрезвычайной ситуации для оценки развития опасных факторов техногенного пожара.

Искусственные нейронные сети в общем понимании представляют собой математическую модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенное по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма [4]. Обобщенная модель биологического нейрона был представлен еще в 1943 году Маккалаком и Питсом [4], представленной на рисунке 1 и аналитическом варианте (1).

$$a(x, w) = \sigma((w, x)) = \sigma\left(\sum_{j=1}^n w_j f_j x\right) \quad (1)$$

Где, $f_j; X \rightarrow R, j = 1, \dots, n$ – числовые признаки

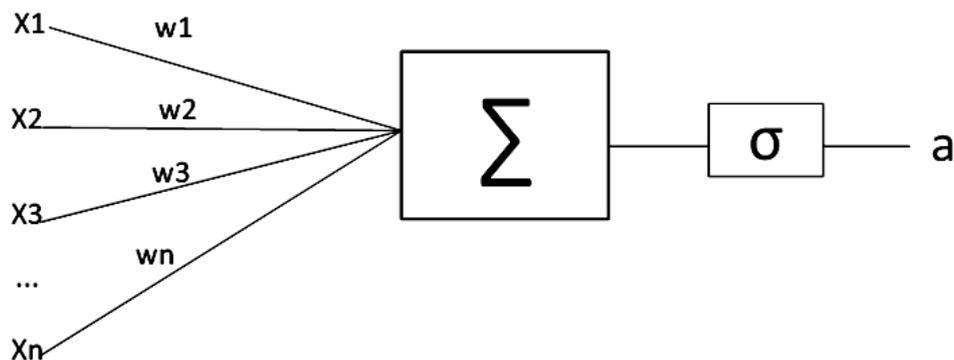


Рис. 1. Модель биологического нейрона [4],

где X_1, \dots, X_n – входные параметры; $w_{11}, w_{1h}, \dots, w_{nH}$ – веса соответствующих параметров; σ – функция активации нейрона

Из рисунка видно, что нейрон представляет собой «черный ящик», в который поступает несколько параметров, а выходит только один единственный параметр, при условии, что нейрон активировался согласно определенной функции активации. Так как нейронная сеть состоит больше, чем из одного нейрона, то следует, что непосредственно сама сеть является суперпозицией отдельных нейронов. Эта гипотеза нашла отражение в идеи перцептрона, а затем и в многослойных нейронных сетях, рисунок 2.

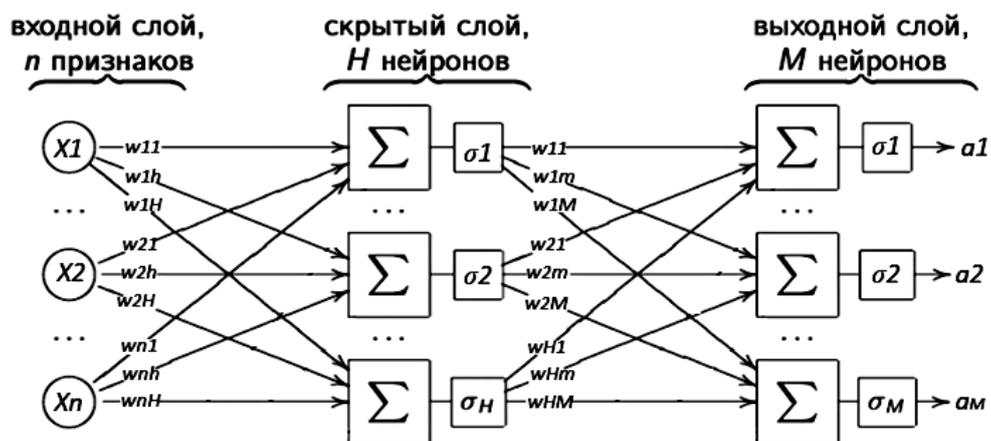


Рис. 2. Многослойная нейронная сеть,

где $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M$ – функции активации соответствующих нейронов;
 a_1, a_2, a_M – выходные параметры соответствующих нейронов

Для решения рассматриваемых проблем с помощью ИНС рассмотрим следующую ситуацию: в помещении цеха лесопромышленного предприятия происходит возгорание, в результате которого происходит развитие пожара и образование опасных факторов пожара (далее - ОФП). Проблема заключается в адекватном прогнозировании развития пожара и его ОФП, а затем и в принятии решения, для управления системой.

В общем случае этот вопрос имеет решение, в виде установок современных систем безопасности (далее - СБ), автоматических систем пожаротушения, предварительного моделирования развития пожара, с целью анализа распространения ОФП и т.д. [5]. Однако, в данной работе будет рассмотрен частный случай решения данного неблагоприятного события. А именно, проектирование, конфигурация и запуск ИНС в программно-аппаратный комплекс современных СБ.

В рассматриваемом сценарии в основе нейронных сетей заложена интегральная математическая модель расчета газообмена при пожаре в здании [5]. Основу данной модели составляют выражения расхода газа между помещениями (1), уравнение баланса массы и оптической плотности (2), (3) уравнение сохранения энергии (4), уравнения для определения температуры газа и концентрации продуктов горения в помещениях здания (5), уравнения основного газового закона:

$$G_{ji} = \text{sign}(\Delta P_{ji}) \cdot \xi \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot |\Delta P_{ji}|} \quad (1)$$

где:

G_{ji} - расход газов через проем между двумя (j-м и i-м) смежными помещениями, кг/с;

ξ - коэффициент расхода проема ($\xi = 0,8$ для закрытых проемов и $\xi = 0,64$ для открытых);

F - площадь сечения проема, M^2 ;

ρ - плотность газов, проходящих через проем, $кг/М^3$;

ΔP_{ji} - средний перепад полных давлений между j-м и i-м помещением, Па.

$$d(\rho_j \cdot V_j) / dt = \psi + \sum_k G_k - \sum_i G_i \quad (2)$$

где:

V_j - объем помещения, M^3 ;

t - время, с;

$\sum_k G_k$
 - сумма расходов, входящих в помещение, кг/с;

$\sum_i G_i$
 - сумма расходов, выходящих из помещения, кг/с;

ψ - скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с.

$$d(C_v \cdot \rho_j \cdot V_j \cdot T_j) / dt = C_p \cdot \sum_k (T_k \cdot G_k) - C_p \cdot T_j \cdot \sum_i (G_i + Q_i - Q_w) \quad (3)$$

где:

C_v, C_p - удельная изохорная и изобарная теплоемкости, $кДж/(кг \cdot К)$;

T_i, T_j - температуры газов в i-м и j-м помещениях, К;

Q_i - количество тепла, выделяемого в помещении при горении, кВт;

Q_w - тепловой поток, поглощаемый конструкциями и излучаемый через проемы, кВт.

$$V_j \cdot d\mu_j / dt = \psi \cdot D_m + \sum_k (\mu_k \cdot G_k) / \rho_k - \mu_j \cdot \sum_i G_i / \rho_j \quad (4)$$

где:

μ_i, μ_j - оптическая плотность дыма в i-м и j-м помещениях, $\text{НП} \cdot \text{М}^{-1}$;

D_m - дымообразующая способность пожарной нагрузки, $\text{НП} \cdot \text{М}^2 / \text{кг}$.

$$T_{nj} = \frac{\sum_{k=1}^n (C_{PB} \cdot G_k \cdot T_k) + Q_j}{C_{vz} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{pr} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{jCT}^* \cdot F_{jCT}} +$$

$$+ \left[T_{(n-1)j} - \frac{\sum_{k=1}^n (C_{PB} \cdot G_k \cdot T_k) + Q_j}{C_{vz} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{pr} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{jCT}^* \cdot F_{jCT}} \right] \cdot$$

$$\cdot \exp \left[- \frac{C_{vz} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{pr} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{jCT}^* \cdot F_{jCT}}{C_{vz} \cdot \rho_j \cdot V_j} \cdot \Delta \tau \right] \quad (5)$$

где:

Q_j - сумма источников (стоков) тепла в объеме j-го помещения и тепла, уходящего в ограждающие конструкции;

$$\alpha^* = \alpha \cdot \left[\frac{T(\tau) - T_w(\tau)}{T(\tau) - T_0} \right] - \text{приведенный коэффициент теплоотдачи};$$

T_0 - начальная температура в помещении;

F_{jCT} - площадь поверхности ограждающих конструкций в j-м помещении.

При адаптации интегральной математической модели [5] в искусственные нейросети, в вышеуказанных выражениях можно выделить два вида параметров: постоянные (объемы помещений, начальные температуры, начальные давления, удельные теплоемкости и т.д.), а также рассчитываемые параметры (количество тепла, выделяемого в помещении, различные коэффициенты и др.). Относительно нейронной сети оба вида параметров будут начальными параметрами для нахождения итоговых результатов, которые нужны пользователю для принятия управленческого решения. Если применить данные параметры относительно многослойной нейронной сети (Рис. 2.), то можно предложить математическую модель начальных и результирующих параметров в ИНС, предложенной в таблице 1.

Таблица 1. Математическая модель, адаптированная под интегральную модель развития пожара на опасном объекте лесной промышленности

№ п/п	Интервалы значений переменных входных параметров, $X_1 - X_n$	Весовые коэффициенты, w	Интервалы выходных параметров, a
1	Значения с электронного термометра, $20 \dots Nt$ °C	Рассчитываются, исходя из процесса обучения ИНС	Расчетная температура газа в помещении, $0 \dots T_{пi}$, К
2	Объемы помещений, $0 \dots Nv$, м^3		Концентрация опасных факторов пожара, $0 \dots Ad$, %

3	Динамическое давление, 100...N, КПа		Изменение оптической плотности, No...Ao
4	Удельные изохорные и изобарные теплоемкости, $C_v, C_p, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$		Концентрация отдельных компонентов газовых смесей, $X_{Lj(n)}, \text{кг/кг}$
5	Оптические плотности дыма в i-м и j-м помещениях (измеряется приборами) 0...No		

Исходя из данных интервалов значений, можно произвести начальную конфигурацию ИНС, а в дальнейшем и ее обучение, с целью прогнозирования развития ОФП, а также, далее, и принятия на основе этого управленческого решения. Обучение нейросети заключается в следующих аспектах:

- конечный массив данных a (Рис. 2) представляет собой совокупность чисел, на основании которых, в дальнейшем возможно принятие управленческого решения (интервалы значений переменных входных параметров, $X_1 - X_n$);

- после того как стал известен выходной массив (интервалы выходных параметров, a) возможно выполнение обучения ИНС. На данном этапе будет происходить процесс машинного обучения. Пользователь задает входные параметры, а также параметры, которые ожидает на выходе. Среда обучения нейросети автоматически произведет подбор весовых коэффициентов w , и сконфигурирует зависимость между входными и конечными интервалами. Стоит отметить, что обучение происходит в несколько итераций, до тех пор, пока отклонение результатов, полученных с помощью нейронной сети не станет близким к истинным значениям;

- в результате вышеописанных операций нейросеть сформируется в качестве инструмента прогнозирования.

Чтобы решить задачу принятия управленческого решения требуется построить дополнительную ИНС, которая обучается аналогичным образом, что и нейросеть для прогнозирования, только без предварительного проведения расчетов. В результате работы нейронной сети на выходе мы получим управленческое решение. Если рассматривать это на примере, то складывается следующее представление:

- выходной массив данных от предыдущей нейросети a становятся входными параметрами для новой нейросети;

- заведомо известно, что при определенных параметрах происходит определенный результат (благоприятное или неблагоприятное событие), поэтому для данной ИНС выходной массив будет определен. Иными словами, данная операция будет производить автоматическое принятие решения, и предоставлять его пользователю в системе безопасности;

- в результате обучения нейронной сети получится система принятия решения в соответствии с [6] (в контексте рассматриваемой чрезвычайной ситуации решение основано на предоставлении пользователю информации с достаточной степенью достоверности, например, о возникновении пожара и его опасных поражающих факторах).

Таким образом, в ходе данной работы проведена адаптация искусственных нейросетей в современные системы безопасности лесной промышленности в качестве инструментов оценки и прогнозирования при принятия управленческого решения.

В ходе исследования получены основные научные результаты:

- разработана математическая модель оценки риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе искусственных нейронных сетей;

- разработана математическая модель, адаптированная под интегральную модель развития чрезвычайной ситуации - техногенного пожара;

- представлена универсальная методика оценки риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе искусственных нейронных сетей
- представлена частная методика оценки риска техногенного пожара с использованием искусственных нейронных сетей.

Список литературы / References

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 —2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска.
2. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

3. ГОСТ Р 53704-2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования.
4. Википедия – Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть/ (дата обращения: 28.01.2018).
5. Приказ МЧС № 382 от 30.06.2009 г. «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». Утвержден Министром МЧС от 31 марта 2011 г.
6. *Гуменюк В.И., Рябина Е.П., Туманов А.Ю., Хлобыстин Н.С.* Управление безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Изд. Политех. ун-та, 2017. 124 с.