

Радоуцкий В. Ю., канд. техн. наук, доц.,  
Шаптала В. Г., д-р. техн. наук, проф.,  
Шаптала В. В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

zchs@intbel.ru

Показана возможность применения двухслойной нейронной сети для очистки радиуса зоны без возвратных потерь при взрывах.

**Ключевые слова:** пробит-функция, ударная волна, зона поражения, нейрон, нейронные сети, моделирование.

Важной составляющей системы управления рисками для учреждений высшего профессионального образования являются математические модели поражающих воздействий, возникающих в результате аварий на близлежащих опасных объектах. Эти модели являются основой для разработки уточненных методов расчета формы, размеров и площади зон поражения, а также определения возможного числа погибших и получивших ущерб здоровью среди студентов, преподавателей и сотрудников ВУЗов.

В настоящее время действуют «Методические рекомендации по определению количества пострадавших при ЧС техногенного характера» [1], основанные на упрощенных алгоритмах определения максимально возможного числа пострадавших. Однако, учитывая высокую социальную значимость безопасности ВУЗов, эти оценки требуют более детального количественного анализа.

При оценке последствий чрезвычайных ситуаций считается, что вероятность определенной степени поражения, в том числе и гибели человека  $P_{см}$ , определяется интегральной функцией нормального закона распределения, аргументом которой является пробит-функция  $Pr$ :

$$P_{см} = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = 0,5 + \Phi(Pr), \quad (1)$$

где  $\Phi(Pr)$  – функция Лапласа.

Выражения для пробит-функций, включающие количественные характеристики поражающих факторов, найдены для всех основных опасных событий путем обработки статистических данных о последствиях аварий и катастроф.

Соответствующие формулы приведены в специальной литературе [2].

Ниже в качестве примера приведем анализ последствий взрывов. В этом случае пробит-функция для оценки вероятности летального исхода имеет вид:

$$Pr = -2,44 \ln \left( \frac{7,38}{\Delta P_{\phi}} + \frac{1900}{\Delta P_{\phi} I} \right), \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\phi}$  (кПа) – избыточное давление на фронте ударной волны,  $I$  (кПа·с) – импульс фазы сжатия ударной волны взрыва.

Параметры ударной волны наземного взрыва конденсированных взрывчатых веществ при выполнении условия

$$1 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{G}} \leq 100 \quad (3)$$

вычисляются по формулам:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \quad (4)$$

$$I = \frac{0,4 \sqrt[3]{G^2}}{\sqrt{R}}, \quad (5)$$

где  $G$  (кг) – тротиловый эквивалент взрывчатого вещества,  $R$  (м) – расстояние от эпицентра взрыва.

Значения функции Лапласа, входящей в формулу (2.27), могут быть с достаточной точностью найдены с помощью следующей аппроксимации:

$$\Phi(x) = 0,5 \left( 1 - \left( 1 + C_1 x + C_2 x^2 + C_3 x^3 + C_4 x^4 + C_5 x^5 + C_6 x^6 \right)^{-16} \right) \quad (6)$$

где:

$$\begin{aligned} C_1 &= 49867347 \cdot 10^{-9}; & C_4 &= 38004 \cdot 10^{-9}; \\ C_2 &= 21141006 \cdot 10^{-9}; & C_5 &= 48891 \cdot 10^{-9}; \\ C_3 &= 3277626 \cdot 10^{-9}; & C_6 &= 5383 \cdot 10^{-9}. \end{aligned}$$

По формулам (1–6) можно рассчитать  $P_{см}(R)$  – зависимость вероятности смертельного поражения людей от расстояния.

Для взрывов характерна круглая форма зоны поражения, поэтому максимальное число погибших  $N_{без}$  (безвозвратные потери) при постоянной плотности  $C$  распределения людей на площади, прилегающей к месту взрыва, определяется по формуле:

$$N_{без}^{max} = 2\pi C \int_0^{\infty} P_{см}(R) R dR. \quad (7)$$

Для вычисления интеграла (7) необходимо указать конечное значение верхнего предела интегрирования. В качестве такого значения примем расстояние  $R_б$ , на котором избыточное давление  $\Delta P_ф$  снижается до безопасной величины, равной 10 кПа. Значение  $R_б$  определяется путем численного решения уравнения:

$$1300z^3 + 390z^2 + 95z - 10 = 0, \quad (8)$$

где  $z = \sqrt[3]{G/R_б}$ .

Аналогично можно найти радиус зоны летального поражения, для которой  $\Delta P_ф \geq 100$  кПа.

Количество пострадавших на территории ВУЗа и в его зданиях можно определить по формуле:

$$N_{без} = C_{т} \iint_{D_{т}} P_{см}(R) R dR d\phi + C_3 \iint_{D_3} P_{см}(R) R dR d\phi, \quad (9)$$

где  $C_{т}$ ,  $C_3$  – плотность распределения людей на территории ВУЗа и в его зданиях;  $D_{т}$ ,  $D_3$  – области интегрирования, соответствующие открытой территории ВУЗа и его застройке. Форма и размеры этих областей определяются по соответствующим схемам, картам или с помощью геоинформационных технологий.

Для оперативного управления ликвидацией последствий ЧС необходимо зонирование территории ВУЗа по тяжести поражения людей и разрушения зданий. В первом, грубом приближении это зонирование можно выполнить по величине (интенсивности) поражающих факторов, например, по величине избыточного давле-

ния  $\Delta P_ф$  (см. уравнение 8). Но в соответствии с международным нормативным документом [3] более обоснованным считается зонирование на основе вероятностного подхода. В частности, принимается, что зона, где физическое или токсическое воздействие аварии приводит к смертности с вероятностью выше 50 %, является зоной безвозвратных потерь, то есть все люди, находящиеся внутри зоны считаются погибшими, а за ее пределами гибели людей не происходит.

За зоной безвозвратных потерь следует зона санитарных потерь, где здоровью всех находящихся в ней людей будет причинен тот или иной ущерб, а люди, находящиеся за ее пределами, не пострадают. Радиус зоны санитарных потерь при взрывах считается в 3,3 раза большим радиуса зоны безвозвратных потерь.

Определение радиуса зоны безвозвратных потерь  $R_{без}$ , равному расстоянию, на котором вероятность гибели человека равна  $P_{см} = 0,5$ , требует обращения математической модели, представленной уравнениями (1–6), что является достаточно сложной вычислительной задачей. Альтернативу модельному алгоритму определения  $R_{без}$  составляет нейросетевая технология [4]. Нейросетевой алгоритм реализует сложное нелинейное отображение тротилового эквивалента взрывчатого вещества  $G$  и вероятности гибели человека  $P_{см}$  на расстояние от эпицентра взрыва  $R$ .

Формирование множества обучающих примеров может осуществляться не только путем прямого применения модели (1–6), но также с использованием имеющихся статистических и экспериментальных данных по взрывам, что повышает достоверность определения  $R_{без}$ .

На рисунке 1 приведена схема двухслойной нейронной сети для определения размера зоны смертельного поражения людей, где используются следующие обозначения:  $x = (x_1, x_2)$  – двумерный вектор входных данных;  $R_{без}$  – выход сети, соответствующий радиусу зоны безвозвратных потерь;  $y = \phi(S)$  – нелинейная функция активации сети;  $W_{1i}^{(1)}$ ,  $W_{2i}^{(1)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – весовые коэффициенты нейронов первого слоя сети;  $W_1^{(2)}$ ,  $W_2^{(2)}$ ,  $\dots$ ,  $W_n^{(2)}$  – выходные весовые коэффициенты нейронов второго слоя сети.

При вычислении  $R_{без}$  на вход сети подаются значения тротилового эквивалента взрывчатого вещества  $x_1 = G$  и вероятности летального исхода  $x_2 = P_{см}$ .

Выход сети задается соотношением:

$$R_{\text{без}} = \sum_{i=1}^n w_i^{(2)} \varphi(S_i = w_{1i}^{(1)} x_1 + w_{2i}^{(1)} x_2)$$

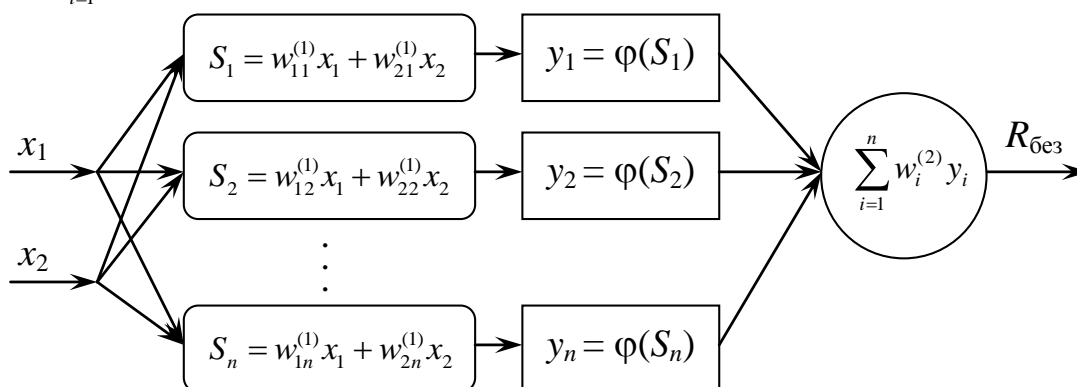


Рисунок 1. Схема двухслойной нейронной сети, используемой для оценки радиуса зоны безвозвратных потерь

Промежуточный слой сети содержит десять нейронов, для активации которых использовалась функция гиперболического тангенса

$$y = \text{th}S = \frac{e^S - e^{-S}}{e^S + e^{-S}}$$

Выборка примеров для обучения нейронной сети составлена с помощью формул (1–6).

Зависимость ошибки аппроксимации обучающей выборки  $E$  от числа итераций  $N$  показана на рисунке 2.

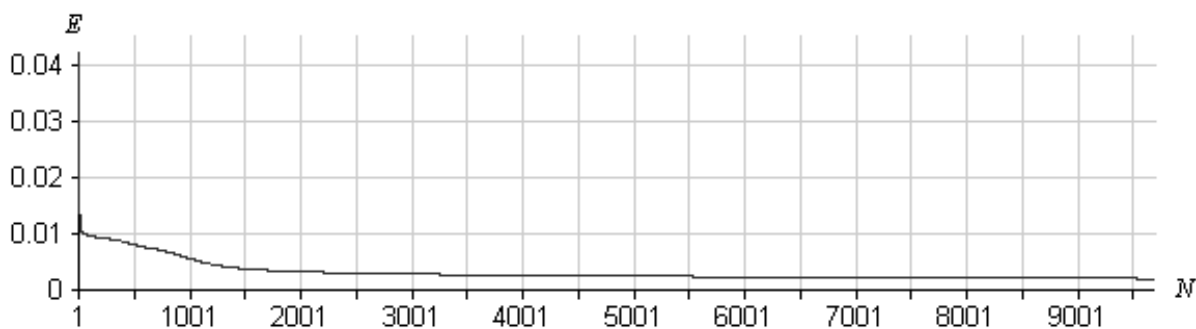


Рисунок 2. Изменение ошибки на выходе НС в процессе обучения

Вид поверхности отклика нейронной сети после окончания процесса обучения показана на рисунке 3.

Аналогично могут быть разработаны нейронные сети для моделирования поражающих воздействий других опасных событий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера. – М.: МЧС, 2007. – 30 с.

2. Акатьев В. А. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях [Текст] / В.А. Акатьев, С.С. Волков, В.С. Гаваза и др. – М.: ЗАО «Фирма Папирус», 1998. – 176 с.

3. Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA, Vienna, 1993. IAEA-TECDOC-727. ISSN 1011-4289.

4. Горбань А. Н. Нейроинформатика [Текст] / А. Н. Горбань, В. П. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин и др. – Новосибирск: Наука, 1998. – 495 с.

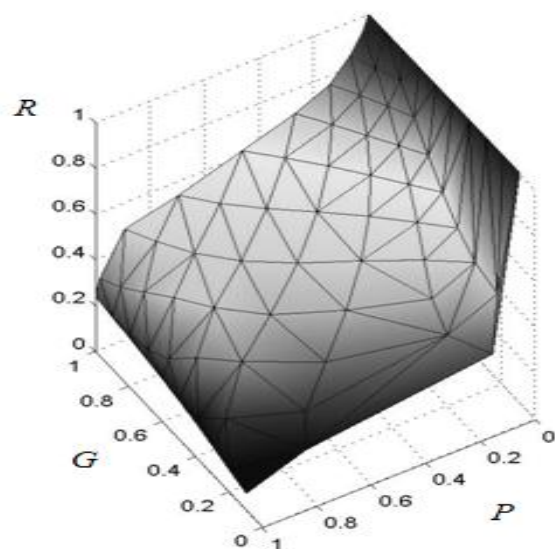


Рисунок 3. Поверхность отклика нейронной сети

