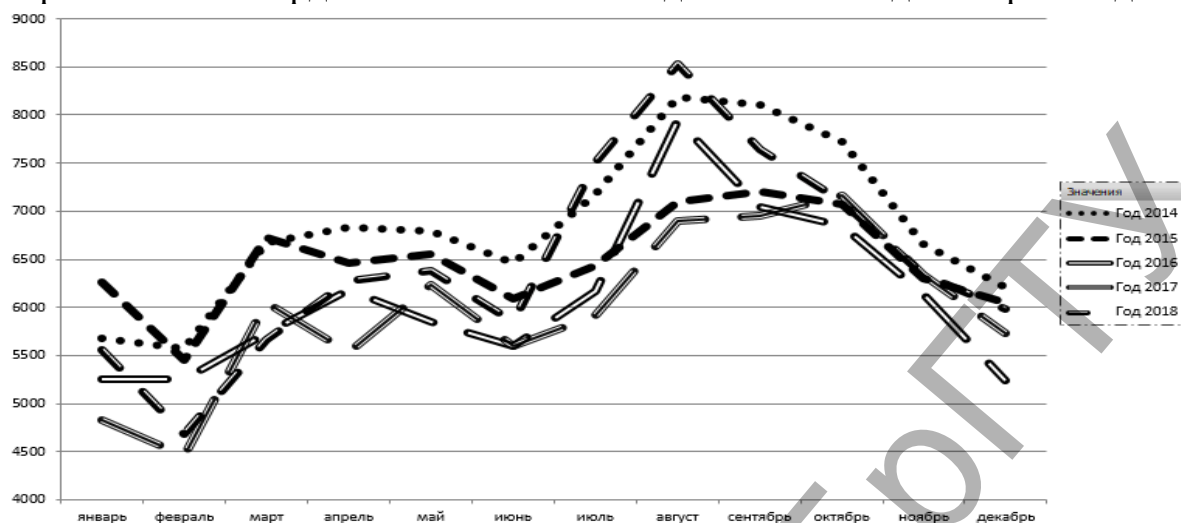


образования твердых бытовых отходов и отходов производства.



**Рисунок 1 - Образование твердых коммунальных и промышленных отходов по месяцам за период 2014-2018 годы в тоннах**

Обеспечение перехода к рациональным экологически устойчивым моделям потребления и производства, позволит не терять из оборота экономики в среднем 200 тонн ресурсов для промышленности ежедневно.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс] : одобр. резолюцией A/RES/70/1 Генер. Ассамблеи, 21 октября 2015 г. // Организация Объединенных Наций. – Режим доступа: [http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Agenda\\_2030.pdf](http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Agenda_2030.pdf)– Дата доступа: 05.10.2019.

**Л.П. Махнист, А.В. Санюкевич, В.П. Черненко, М.М. Юхимук**  
Беларусь, Брест, БрГТУ

#### О СХОДИМОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассматривается задача обучения нейронной сети, которая состоит в нахождении весовых коэффициентов  $w_{ij}$  и порогов  $T_j$  нейронной сети, которые минимизируют функцию ошибки сети  $E(\bar{W}) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (y_j - t_j)^2$ , где  $y_j = F(S_j)$  – значение функции активации  $j$ -ого выходного нейрона сети,  $S_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} x_i - T_j$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ ),  $t_j$  – ожидаемый выход  $j$ -ого выходного нейрона,  $x_i$  – выходное значение  $i$ -ого нейрона предыдущего слоя,  $\bar{W} = (w_{11}, w_{21}, \dots, w_{m1}, T_1, \dots, w_{1n}, w_{2n}, \dots, w_{mn}, T_n)^T$  – вектор-столбец

весовых коэффициентов  $w_{ij}$  и порогов  $T_j$  нейронной сети, а  $\bar{W}_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{mj}, T_j)^T$  – вектор-столбец весовых коэффициентов  $w_{ij}$  и порога  $T_j$ , связанных с  $j$ -ым выходным нейроном сети,  $E(\bar{W}_j) = \frac{1}{2}(y_j - t_j)^2$  – функция ошибки  $j$ -ого выходного нейрона сети.

Обучение нейронной сети с использованием метода наискорейшего спуска состоит в изменении весовых коэффициентов  $w_{ij}$  и порогов  $T_j$  нейронной сети на каждом шаге обучения, в соответствии с формулой:  $\bar{W}_j(t+1) = \bar{W}_j(t) - \alpha_j(t) \nabla E(\bar{W}_j(t))$ , где  $\nabla E(\bar{W}_j)$  – градиент функции  $E(\bar{W}_j)$ ,

Предлагается использовать соотношения:

$$\alpha_j(t) = \frac{\|\nabla E(\bar{W}_j(t))\|^2}{\left(\nabla^2 E(\bar{W}_j(t)) \cdot \nabla E(\bar{W}_j(t)), \nabla E(\bar{W}_j(t))\right)}, \quad (1)$$

если шаг обучения  $\alpha_j(t)$  выбирается только для минимизации функции ошибки сети  $j$ -ого выходного нейрона  $E(\bar{W}_j)$ , и

$$\alpha_j(t) = \alpha(t) = \frac{\sum_{j=1}^n \|\nabla E(\bar{W}_j(t))\|^2}{\sum_{j=1}^n \left(\nabla^2 E(\bar{W}_j(t)) \cdot \nabla E(\bar{W}_j(t)), \nabla E(\bar{W}_j(t))\right)}, \quad (2)$$

если шаг обучения  $\alpha(t)$  выбирается для минимизации функции ошибки сети  $E(\bar{W})$ , где  $\nabla^2 E(\bar{W}_j(t))$  – матрица Гессе функции  $E(\bar{W}_j(t))$ .

Соотношения (1) и (2) получены и использовались, например, в [1–3] при выполнении условия  $\min_j \left(F'(S_j(t))\right)^2 + (y_j(t) - t_j)F''(S_j(t)) > 0$ , которое рассматривалось в [4].

Сравним абсолютные изменения функции ошибки сети  $E(\bar{W})$  в рассмотренных двух случаях:

$$\begin{aligned} & \max \left( \left| \Delta_1 E(\bar{W}(t)) \right|, \left| \Delta_2 E(\bar{W}(t)) \right| \right) = \\ & = \frac{1}{2} \max \left( \sum_{j=1}^n q_j(t) \alpha_j(t), 1 / \sum_{j=1}^n \frac{q_j(t)}{\alpha_j(t)} \right) \cdot \|\nabla E(\bar{W}(t))\|^2 = \\ & = \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n q_j(t) \alpha_j(t) \right) \cdot \|\nabla E(\bar{W}(t))\|^2, \text{ где } q_j(t) = \frac{\|\nabla E(\bar{W}_j(t))\|^2}{\|\nabla E(\bar{W}(t))\|^2}. \end{aligned}$$

Следовательно, использование соотношений (1) будет обеспечивать лучшую скорость сходимости обучение нейронной сети с использованием метода наискорейшего спуска по сравнению с использованием соотношения (2).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Golovko, M. Multilayer neural networks training methodic / M. Golovko, L. Makhnist, N. Maniakov // Second IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2003) : Proceedings, Lviv, Ukraine, 8–10 Sept. 2003. – Lviv, 2003. – P. 185–190.
2. Maniakov, N. Traing algorithm for forecasting multilayer neural network / N. Maniakov, L. Makhnist, V. Rubanov // Pattern Recognition and Information Processing : Proceedings of The Seventh International Conferences (PRIP'2003), Minsk, Republic of Belarus, 21–23 May 2003 : in 2 vol. – Minsk, 2003. – Vol. 1. – P. 26–30.
3. Makhnist, L. Some Methods of Adaptive Multilayer Neural Network Training / L. Makhnist, N. Maniakov // International Journal of Computing. – 2004. – Vol. 3. – P. 99–106.
4. Maxnist, L. Convergence Analysis of Neural Networks Training Based on steepest Descent Method / L. Maxnist, A. Doudkin, V. Golovko // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2007) : Proceedings of the Ninth International Conference, Minsk, Republic of Belarus, 22–24 May 2007 : in 2 vol. – Minsk, 2007. – Vol. 1. – P. 285–289.

**Г.Л. Муравьев, С.В. Мухов, С.И. Парфомук**  
Беларусь, Брест, БрГТУ

**ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ МЕТОДАМ ПОВЫШЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

В настоящее время весьма актуально обучение методам повышения уровня надежности эксплуатации программных систем с учетом требований по обеспечению достаточно приемлемого уровня надежности. Как правило, в рамках дисциплин связанных с информатикой учат использовать операторы языка программирования или изучают конкретные инструментальные программные средства, но опускают тему как эффективно и максимально надежно работать с этими программными.

Надежность эксплуатации программного продукта определяется в первую очередь так называемым «человеческим фактором» при выполнении эксплуатационных процедур программной системы. Контролировать этот «человеческий фактор» можно за счет использования:

– минимального и достаточного набора типизированных программных объектов;