

УДК 54.062:004.032.26

Васильева Е.В., Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.
(Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева)

Субботин С.П.
(Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, ПАО «Кокс»)

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ ИЗ УГЛЕЙ КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА

В условиях ухудшающейся сырьевой базы коксования, а также недостатка и дороговизны коксующихся углей возрастает роль прогнозирования выхода химических продуктов в современной коксохимической промышленности. Нестабильность и разнородность сырьевой базы коксования по технологическим свойствам, неравномерность поставок углей влияет как на качество кокса, так и на выход химических продуктов коксования. В этих условиях возрастает значение оценки ресурсов химических продуктов коксования в углях и шихтах [1].

Целью работы является разработка нового научно обоснованного метода прогноза выхода химических продуктов коксования из углей, применяемых для производства кокса.

В ходе исследований кафедрой химической технологии твердого топлива института химических и нефтегазовых технологий Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева совместно с центральной заводской лабораторией ПАО «Кокс» проведены исследования параметров качества и выхода химических продуктов коксования для 48 образцов углей и угольных концентратов сырьевой базы ПАО «Кокс» г. Кемерово, так как ввиду его географического положения, сырьевая база предприятия ориентирована в основном на угли Кузнецкого бассейна. Для возможности применения полученных математических зависимостей выхода химических продуктов коксования от показателей качества исходных углей в практике промышленных производств, для исследований применялись стандартные методы определения показателей технического анализа углей, спекаемости, элементного и петрографического анализов. Математический анализ проводился методами кластерного, канонического, корреляционного и регрессионного анализов, математическое моделирование – методом нейронных сетей. Математический анализ и моделирование проводилось совместно с кафедрой прикладных информационных технологий института информа-

ционных технологий, машиностроения и автотранспорта Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Результаты исследований представлены в [1, 2].

В виду сложности связи между выходом продуктов коксования и параметрами угольной шихты, для решения задачи прогнозирования особый интерес представляет сеть Ворда и сети на ее основе. Она схожа с многослойным персептроном, но нейроны в ней сгруппированы и используются различные передаточные функции, что позволяет находить более сложные зависимости [3].

Нейронные сети отлично подходят для решения задачи прогнозирования, однако в данный момент нет универсального инструмента на их основе. Опираясь на результаты статистического анализа, который показал нелинейность связи входных и выходных данных, было принято решение разработать собственную реализацию сети Ворда. Топология полученной нейронной сети для выходного параметра «Кокс» представлена на рис. 1. Аналогично были получены нейронные сети для прогноза выхода основных химических продуктов, таких как каменноугольная смола, сырой бензол и коксовый газ [4]. На основе результатов исследований создано приложение «Интеллектуальная информационная система прогнозирования выхода продуктов коксования» [5].

Рассмотрим математическую модель для выходного параметра «Кокс». Введем обозначение h_{ij} – значение на выходе из нейрона; i – номер слоя; j – номер нейрона в слое; k_{ij} – сумма значений веса синапса, умноженных на выходное значение из нейрона. Нумерацию слоев начнем с 0. Обозначим: $x_1 - V^d$; $x_2 - y$; $x_3 - \sum OK$; $x_4 - C^{daf}$.

Для нейронов входного слоя:

$$\begin{cases} h_{01} = \frac{x_1 - 16,3}{22,9}; \\ h_{02} = \frac{x_2 - 8,0}{37,0}; \\ h_{03} = \frac{x_3 - 4,0}{83,0}; \\ h_{04} = \frac{x_4 - 82,14}{8,32}. \end{cases} \quad (1)$$

Для нейронов скрытого слоя (один скрытый слой):

$$\begin{cases} k_{11} = 1,5626 + h_{01} \cdot (-2,2624) + h_{02} \cdot (-0,3274) + h_{03} \cdot (3,1655) + h_{04} \cdot (2,6417); \\ k_{12} = -0,3394 + h_{01} \cdot (-1,8028) + h_{02} \cdot (0,3844) + h_{03} \cdot (1,2557) + h_{04} \cdot (2,1212); \\ k_{13} = -1,0034 + h_{01} \cdot (3,5804) + h_{02} \cdot (1,2303) + h_{03} \cdot (-2,7116) + h_{04} \cdot (-3,5915); \\ k_{14} = 1,0889 + h_{01} \cdot (1,5953) + h_{02} \cdot (1,8364) + h_{03} \cdot (-1,0231) + h_{04} \cdot (-2,0928); \\ k_{15} = -0,4499 + h_{01} \cdot (-0,5127) + h_{02} \cdot (-0,4656) + h_{03} \cdot (0,0835) + h_{04} \cdot (0,2645). \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} h_{11} = \frac{e^{2k_{11}-1}}{e^{2k_{11}+1}} = \text{TANH}(k_{11}); \\ h_{12} = \frac{e^{2k_{12}-1}}{e^{2k_{12}+1}} = \text{TANH}(k_{12}); \\ h_{13} = \frac{e^{2k_{13}-1}}{e^{2k_{13}+1}} = \text{TANH}(k_{13}); \\ h_{14} = \frac{e^{2k_{14}-1}}{e^{2k_{14}+1}} = \text{TANH}(k_{14}); \\ h_{15} = \frac{e^{2k_{15}-1}}{e^{2k_{15}+1}} = \text{TANH}(k_{15}). \end{cases} \quad (3)$$

Для нейрона выходного слоя:

$$k_{21} = -0,9448 + h_{11} \cdot 1,9450 + h_{12} \cdot 1,7387 + h_{13} \cdot 1,4989 + h_{14} \cdot 0,7857 + h_{15} \cdot 2,9700; \quad (4)$$

$$h_{21} = e^{k_{21}} = \text{EXP}(k_{21}). \quad (5)$$

Преобразование значения в исходный диапазон:

$$y = 19,05 \cdot h_{21} + 66,53. \quad (6)$$

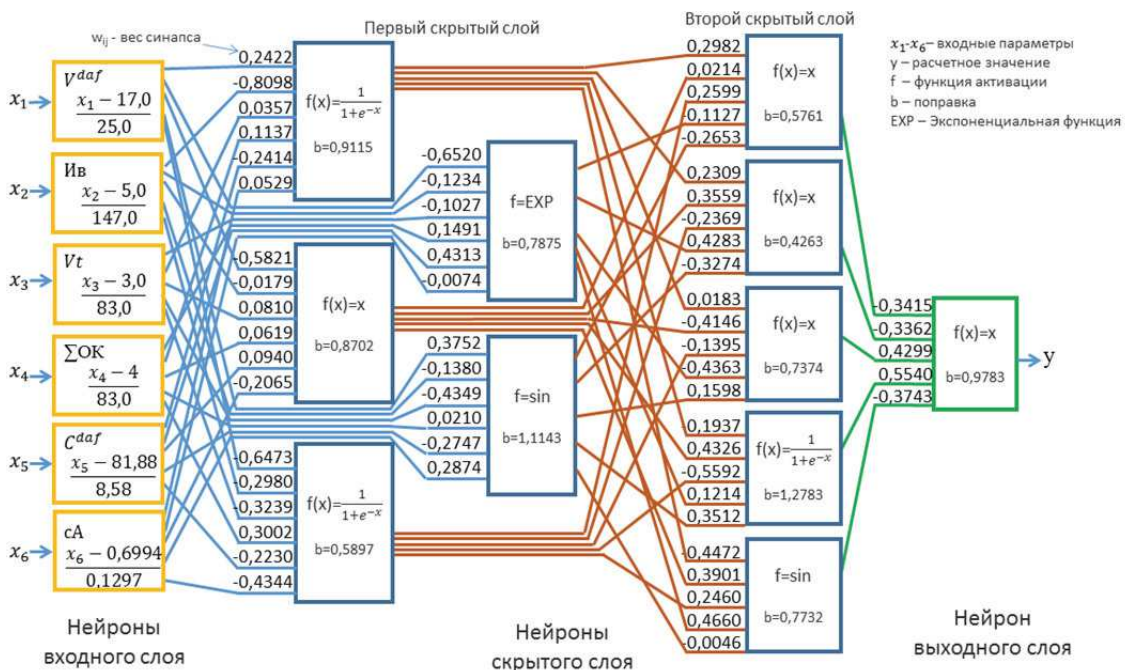


Рисунок 1 – Топология нейронной сети для выходного параметра «Кокс»

Относительная ошибка прогнозирования составляет для параметра «кокс» – $0,64 \pm 0,23$ %, «каменноугольная смола» – $19,53 \pm 5,25$ %, «сырой бензол» – $10,02 \pm 2,83$ %, «коксовый газ» – $5,11 \pm 1,34$ %.

Прогноз значений показателей выхода химических продуктов по данной модели производился без учета влияния технологических условий процесса коксования. Поэтому дальнейшие исследования планируется направить на изучение их влияния на выход химических продуктов, что, возможно, позволит снизить величину относительной ошибки прогноза. Получение адекватной модели при этом затруднено большим количеством влияющих факторов и их различностью в пределах коксовой батареи и коксохимического завода.

Авторы выражают благодарность коллективу ПАО «Кокс» за оказание помощи и сотрудничество при проведении научных исследований.

Литература

1. Васильева, Е.В. Прогнозирование выхода кокса на основе определения выхода химических продуктов коксования углей / Е.В. Васильева, Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин, А.В. Неведров, А.В. Папин, Н.Г. Колмаков, Е.А. Кошелев // Кокс и химия. – 2015. – № 11. – С. 14–19.

2. Васильева, Е. В. Разработка метода прогноза выхода химических продуктов коксования с применением математического анализа экспериментальных данных / Е.В. Васильева, А.Б. Пилецкая, В.С. Дороганов, Т.Г. Черкасова, А.Г. Пимонов, С.П. Субботин, А.В. Неведров, А.В. Папин, Н.Г. Колмаков // Кокс и химия. – 2017. – № 9. – С. 26–31.

3. Арнис. Нейронные сети для начинающих. Часть 1 [Электронный ресурс] // Хархабр. – 2006. –Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/312450/>.

4. Васильева, Е. В. Метод прогноза выхода химических продуктов коксования на основе нейросетевой математической модели / Е.В. Васильева, А.Б. Пилецкая, В.С. Дороганов, Т.Г. Черкасова, А.Г. Пимонов, С.П. Субботин, А.В. Неведров, А.В. Папин, Н.Г. Колмаков, Е.А. Кошелев // Кокс и химия. – 2019. – № 2. – С. 23–30.

5. Свид. 2017662199 Российская Федерация. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Интеллектуальная информационная система прогнозирования выхода продуктов коксования / Е.В. Васильева, А.Б. Пилецкая, В.С. Дороганов, Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин, А.В. Неведров, Е.А. Кошелев, Н.Г. Колмаков. Заявл. 04.09.2017; опубл. 01.11.2017, реестр программ для ЭВМ. 1 с.