УДК 004.032.26 + 519.876.2

С.Ю. Халапян, А.О. Анпилов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА*

Рассмотрена проблема создания системы автоматического управления технологическим процессом обезвоживания железорудного концентрата. Проведенное исследование взаимной корреляции технологических параметров дискового вакуум-фильтра показало возможность организации косвенного измерения влажности и массы осадка. Для выявления необходимых зависимостей были проведены эксперименты на реальном объекте, целью которых являлся сбор данных о работе агрегата при различных внешних условиях. Собранная информация о колебаниях влажности и массы концентрата, давления в вакуумной системе фильтра и амплитуды вибрации в двух точках на поверхности ресивера при различных скоростях вращения дисков и плотности пульпы использовалась для обучения нейронной сети. В результате оптимизации структуры сети была получена нейросетевая модель, дающая на контрольной выборке приемлемую точность оценки влажности и массы осадка, что позволяет использовать ее для создания системы косвенного измерения данных показателей.

Ключевые слова: железорудный концентрат, обезвоживание, дисковый вакуум-фильтр, система автоматического управления, влажность осадка, косвенное измерение, искусственная нейронная сеть, нейросетевая модель.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-195-200

На металлургических предприятиях на стадии обезвоживания железорудного концентрата широко используются дисковые вакуум-фильтры. Продуктивность этой стадии зачастую определяет общую эффективность отдельно взятого горно-обогатительного комбината, тогда как качество фильтрования непосредственно влияет на ценность и сорт конечного продукта вместе со стоимостью его дальнейшей переработки [1].

Целью данной работы является повышение производительности дискового вакуум-фильтра, при условии, что влажность выходного продукта процесса обезвоживания будет поддерживаться на заданном уровне. Актуальность данной темы подтверждается широким применением дисковых вакуум-фильтров на горно-металлургических предприятиях, высокой энергоемкостью процесса обезвоживания, а также использованием

* Исследование проведено при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации, договор № 14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

© С.Ю. Халапян, А.О. Анпилов. 2017.

ручного управления дисковыми вакуум-фильтрами.

Количество влаги в осадке определяется в настоящее время с помощью лабораторного анализа, что не дает возможности осуществлять управление процессом обезвоживания в реальном времени. Поэтому, регулируя влажность осадка, оператор занижает частоту вращения дисков, чтобы обеспечить необходимый запас по влажности. Организация постоянного измерения влажности железорудного концентрата и разработка системы автоматического управления процессом его обезвоживания позволит, таким образом, стабилизировать влажность осадка на необходимом уровне, повысить среднее значение частоты вращения дисков вакуум-фильтра и увеличить его производительность [2].

Система автоматического управления процессом обезвоживания согласно [3—8] может содержать следующие контуры регулирования: влажности осадка, удельной производительности, плотности пульпы питания, уровня пульпы в резервуаре для ее хранения, расхода пара, уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра.

Для работы полученной системы управления необходимы датчики влажности конечного продукта и толщины осадка на дисках вакуум-фильтра. В большинстве случаев установка необходимых датчиков является технологически и экономически нецелесообразной. В таких условиях может быть предложена организация косвенного измерения необходимых показателей процесса обезвоживания на основе исследования взаимной корреляции технологических параметров дискового вакуум-фильтра [9].

Было выявлено, что при постоянных частоте вращения дисков, плотности пульпы питания и величине разряжения в зонах набора и сушки осадка колебания влажности и толщины вызваны колебаниями гранулометрического состава кека, от которого зависит величина удельного сопротивления осадка. Последняя может быть определена по колебаниям давления в вакуум системе фильтра и амплитуде вибрации ресивера. Следовательно, величина удельного сопротивления осадка может являться косвенным показателем влажности осадка и его толщины [9].

Для проверки данной гипотезы была построена система сбора данных технологических характеристик вакуум-фильтра. В состав данной системы вошли: быстродействующий датчик разрежения, устанавливаемый на распределительной головке фильтра, датчики вибрации, устанавливаемые на ресивере, АЦП и ЭВМ.

В ходе экспериментов на реальном объекте измерялись и фиксировались следующие технологические параметры: частота вращения дисков, масса, толщина, влажность и гранулометрический состав осадка, плотность пульпы, разряжение в вакуум-системе фильтра, вибрация в двух точках ресивера, время.

В ходе данных экспериментов было выявлено, что толщина осадка на диске существенно отличается на различных дисках фильтра и секторах диска, поэтому целесообразно организовать косвенное измерение массы осадка, а не его толщины. Анализ результатов эксперимента показал, что при увеличении глубины вакуума масса кека на секторе возрастает, а его влажность снижается. Данные зависимости подтверждают предположение о том, что величина удельного сопротивления осадка может являться косвенным показателем влажности и массы осадка.

Для выявления скрытых зависимостей технологических параметров вакуум-фильтра и построения его модели, отражающей зависимость влажности и массы кека от измеряемых параметров, предлагается использовать аппарат нейронных сетей, обладающих свойством выявления таких зависимостей [10—13].

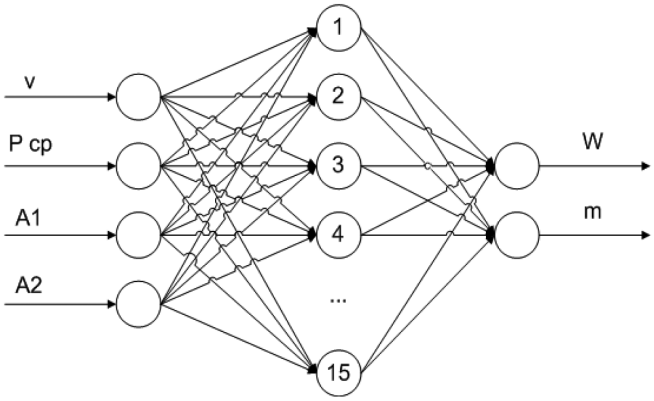

Рис. 1. Нейронная сеть, реализующая косвенную оценку влажности и массы кека

В рамках настоящего исследования для создания нейросетевой модели использовалась многослойная нейронная сеть. В результате проведенной оптимизации ее структуры были определено число нейронов в скрытом слое и функция активации. Нейронная сеть (рис. 1) имеет 4 входа (частота вращения дисков, величина давления разряжения, амплитуды вибрации в двух точках ресивера), 2 выхода (влажность и масса осадка) и 15 нейронов в скрытом слое. В скрытом слое используется функция активации типа «гиперболический тангенс», а в выходном — линейная.

Для проверки адекватности работы нейронной сети на ее входы была подана тестовая выборка (рис. 2), состоящая

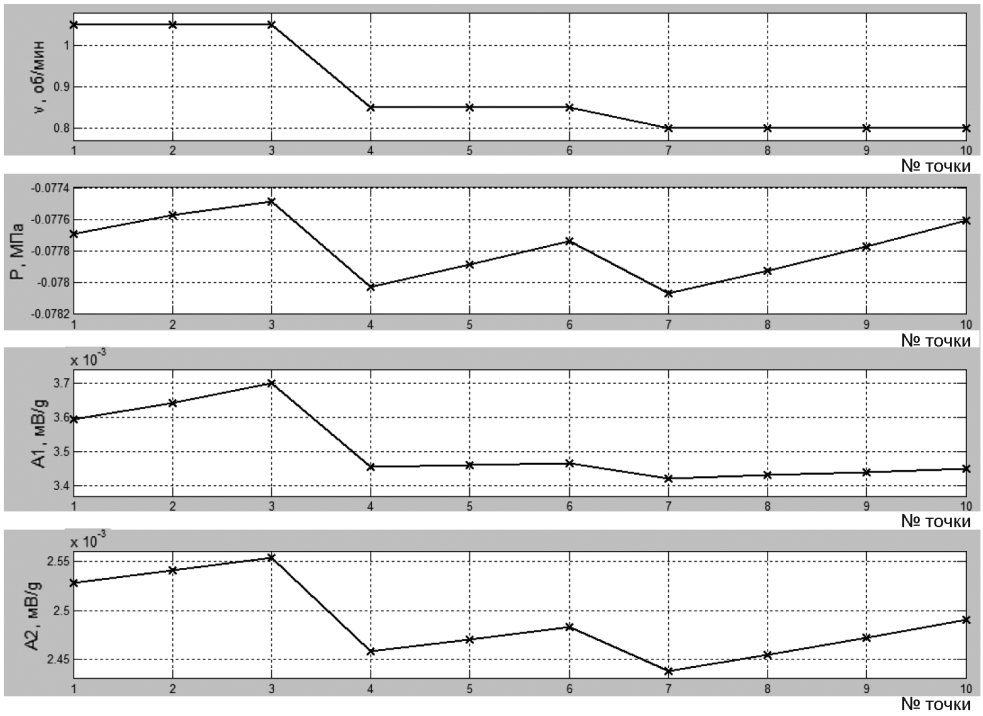

Рис. 2. Тестовая выборка для нейронной сети, реализующей косвенную оценку влажности и массы кека

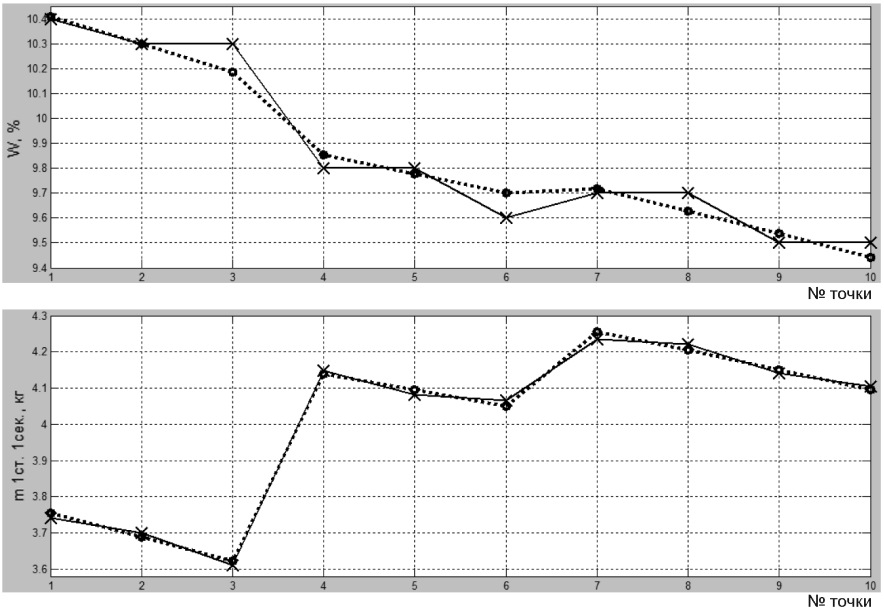

Рис. 3. Результаты тестирования нейронной сети, реализующей косвенную оценку влажности и массы кека

из 10 точек, не входивших в обучающую выборку. В результате тестирования нейронной сети были получены графики влажности (верхний) и массы (нижний), представленные на рис. 3. Сплошными линиями представлены ожидаемые выходы нейронной сети, штриховыми — реальные данные.

Близость полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что разработанная нейронная сеть работает адекватно и может быть использована в системе управления процессом обезвоживания.

В дальнейшем на основе вычислительного эксперимента предполагается провести оценку эффекта от внедрения системы управления на основе описанного метода косвенного измерения массы и влажности осадка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воловиков А. Ю.* Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров. URL: http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/8/300-303_Volovikov2-8-2013.pdf (дата обращения 18.01.2017).

2. *Анпилов А. О.*, *Халапян С. Ю.*, *Еременко Ю. И.* О повышении эффективности работы дискового вакуум-фильтра / Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции, с международным участием. — Старый Оскол, 2015. — С. 167.

3. *Гольберт Ю. С. и др.* Процессы и оборудование для обезвоживания руд. — М.: Недра, 1977. — 168 с.

4. *Гольберт Ю. С.*, *Гонтаренко А. А.* Обезвоживание концентратов черных металлов. — М.: Недра, 1986. — 182 с.

5. *Кононенко Г. Г.*, *Бокатий А. Н.*, *Дядюра В. В.*, *Шаркевич М. А.*, *Дейнега В. Г.* Патент СССР № 1713617 А1, 23.02.1992. Способ автоматического управления работой вакуум-фильтра. 1990. Бюл. № 7.

6. *Пацкан А.Я.*, *Щелинский А.А.*, *Черник Ю.П.*, *Золотарев А.И.* Патент СССР № 691156, 15.10.1979. Способ автоматического управления дисковым вакуум-фильтром. 1976. Бюл. № 38.

7. *Вишняк Б.А.*, *Бурштейн С.М.*, *Бродская С.А.* Патент СССР № 1725971 А1, 15.04.1992. Способ автоматического управления процессом обезвоживания суспензии в барабанном или ленточном вакуум-фильтре. 1990. Бюл. № 14.

8. *Гончаров Ю.Г.*, *Энгель П.С.*, *Рясной А.М.*, *Кайгородцев Ю.М.*, *Миллер А.А.*, *Подопригора В.П.*, *Малюта Д.И.*, *Халецкий Б.Е.* Патент СССР № 601029, 05.04.1978. Способ управления процессом обезвоживания в вакуум-фильтрах. 1973. Бюл. № 13.

9. *Халапян С.Ю. и др.* Об организации косвенного измерения влажности и толщины осадка на дисках вакуум-фильтра с целью повышения его производительности // Вестник научных конференций. — 2016. — № 9—5 (13). — С. 202—203.

10. *Khalapyan S.Y.*, *Rybak L.A.*, *Glushchenko A.I.*, *Mamaev Y.A.* On neural network model development to solve parallel robots kinematics and control problems // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. no 4. pp. 25085—25095.

11. *Serrano F.A.*, Caballero K. Yen, Brezina T. Control of a Stewart platform with fuzzy logic and artificial neural network compensation // Florida International University. 2007. pp. 156—160.

12. *Koldaev A.I.* The Neuro-Fuzzy Controller of Reactor Installation Management of Butanol Hydrogenation // International Journal of Engineering Research & Technology. 2014. Vol. 3. pp. 1568—1571.

13. *Fang M., Zhuo Y., Lee Z.* The application of the self-tuning neural network PID controller on the ship roll reduction in random waves // Ocean Engineering. 2010. № 37. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Халапян Сергей Юрьевич[1] — кандидат технических наук, доцент,
e-mail: cx@hotbox.ru,
Анпилов Александр Олегович[1] — магистрант, e-mail: alexandr7432@rambler.ru,
[1] Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал),
НИТУ «МИСиС» (СТИ НИТУ «МИСиС»).

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 195–200.

UDC 004.032.26 + 519.876.2

S.Yu. Khalapyan, A.O. Anpilov

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES TO INDIRECT MEASUREMENTS IN THE IRON ORE CONCENTRATE DEWATERING CONTROL

The work deals with the problem of creation of system of automatic control of technological process of dehydration of iron ore concentrate. Currently, the management of disk vacuum filters is carried out manually by the operator and based on the results of periodic laboratory analysis of moisture content of the product. In this case to guarantee its compliance with the applicable process requirements, the operator is forced to maintain the reduced rotation speed of the disc of filter and/or reduced density of the original pulp. The result is reduced performance vacuum filter. This at constant cost to maintain a given level of vacuum in the system leads to increased unit costs and the cost of the product.

The main obstacle to the creation of the automatic control system is the need for moisture measurement of iron ore concentrate in the stream and determining the average thickness of sediment on the disks. However, the installation of appropriate sensors in most cases is technologically and economically impractical. The study cross-correlation of technological parameters of disk vacuum filter showed the possibility of organizing an indirect measurement of moisture and mass of sludge. To identify the necessary dependencies, experiments were conducted on the real object, the purpose of which was to collect data on the work of the unit under different external conditions.

The gathered information on the fluctuations of humidity and the weight of the concentrate, pressure in the vacuum system of the filter and the amplitude of the vibration at two points on the surface of the receiver at various speeds of rotation of the discs and pulp density was used for training the neural network. As a result of optimization of network structure were obtained neural network model, which allows for on control sample a reasonably accurate assessment of moisture content and weight of sludge, which allows its use for creation of system of indirect measurement of these indicators.

Key words: iron ore concentrate, dehydration, disk vacuum filter, system of automatic control, moisture of sludge, indirect measurement, artificial neural network, neural network model.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-195-200

AUTHORS

Khalapyan S.Yu.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor e-mail: cx@hotbox.ru,
Anpilov A.O.[1], Master's Degree Student, e-mail: alexandr7432@rambler.ru,
[1] Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov,
National University of Science and Technology «MISiS» branch,
309530, Stary Oskol, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was conducted with financial support of applied scientific research by the Ministry of education and science of the Russian Federation, agreement № 14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

REFERENCES

1. Volovikov A.Yu. *Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya protsessa obezvozhivaniya zhelezorudnogo kontsentrata s ispol'zovaniem vakuumnykh diskovykh fil'trov* (Experimental setup to study the process of dehydration of iron ore concentrate using vacuum disc filters), available at: http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/8/300-303_Volovikov2-8-2013.pdf (accessed 18.01.2017).

2. Anpilov A.O., Khalapyan S.Yu., Eremenko Yu.I. *Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo: materialy 12-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, s mezhdunarodnym uchastiem* (Modern problems of mining and metallurgical complex. Science and production: materials of the 12th all-Russian scientific-practical conference with international participation), Staryy Oskol, 2015, pp. 167.

3. Gol'bert Yu.S. *Protsessy i oborudovanie dlya obezvozhivaniya rud* (Processes and equipment for dehydration of ores), Moscow, Nedra, 1977, 168 p.

4. Gol'bert Yu.S., Gontarenko A.A. *Obezvozhivanie kontsentratov chernykh metallov* (Dehydration concentrates of ferrous metals), Moscow, Nedra, 1986, 182 p.

5. Kononenko G.G., Bokatiy A.N., Dyadyura V.V., Sharkevich M.A., Deynega V.G. *Patent USSR no 1713617 A1*, 23.02.1992.

6. Patskan A.Ya., Shchelinskiy A.A., Chernik Yu.P., Zolotarev A.I. *Patent USSR no 691156*, 15.10.1979.

7. Vishnyak B.A., Burshteyn S.M., Brodskaya S.A. *Patent USSR no 1725971 A1*, 15.04.1992.

8. Goncharov Yu.G., Engel' P.S., Ryasnoy A.M., Kaygorodtsev Yu.M., Miller A.A., Podoprigora V.P., Malyuta D.I., Khaletskiy B.E. *Patent USSR no 601029*, 05.04.1978.

9. Khalapyan S.Yu. *Vestnik nauchnykh konferentsiy*. 2016, no 9—5 (13), pp. 202—203.

10. Khalapyan S.Y., Rybak L.A., Glushchenko A.I., Mamaev Y.A. On neural network model development to solve parallel robots kinematics and control problems. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. no 4. pp. 25085—25095.

11. Serrano F.A., Caballero K. Yen, Brezina T. Control of a Stewart platform with fuzzy logic and artificial neural network compensation. *Florida International University*. 2007. pp. 156—160.

12. Koldaev A.I. The Neuro-Fuzzy Controller of Reactor Installation Management of Butanol Hydrogenation. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2014. Vol. 3. pp. 1568—1571.

13. Fang M., Zhuo Y., Lee Z. The application of the self-tuning neural network PID controller on the ship roll reduction in random waves. *Ocean Engineering*. 2010, no 37.