

3. Мищенко В.Я., Баринов В.Н., Горбанева Е.П., Назаров А.Н. Энергетическое обследование (энергоаудит) объектов социальной сферы // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 77-84.

4. Тыршу М.С., Зайцев Д.А., Голуб И.В. Энергоаудит как инструмент энергосбережения // Проблемы региональной энергетики. – 2013. – № 3 (23). – С. 73-79.

**B. Basok, S. Goncharuk, O. Lysenko, A. Lunina, L. Oliynyk**  
**Institute of Engineering Thermophysics of NASU**

#### **ENERGY AUDIT OF BUILDING AND RESEARCH OF ITS HEAT SYSTEM**

*The article presents the results of the energy audit of the administrative building. The calculation of average annual specific heat loss of the building heating was conducted and the feasibility of a set of measures to reduce the consumption of thermal energy, by establishing individual heat point was determined.*

**Keywords:** building, energy audit, heating, heat consumption, energy saving.

#### **References**

1. DSTU-NBA.2.2-5: 2007. Guidelines for the development and preparation of energy passports of buildings with no-ments construction and rekonstruktsiyi.-К.: Minregionstroy Ukraine, 2008. – 43 с.

2. I. A. Nemirovsky, Energyaudit in budgetary organizations and ZHKKH // Energosbeoyezheniye. Energetika. Energoaudit. – 2011. – №10 (92). – P. 62-67.

3. Mishchenko V. Ya., Barinov V. N., Gorbaneva Ye. P., Nazarov A. N. Energy Survey (Energy Audit) of Objects of the Social Sphere // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitektarno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. – 2012. – № 1. – P. 77-84.

4. Tirshu M., Zaitsev D., Golub I. Energy audit as a tool for decreasing of energy consumption // Problemy regionalnoy energetiki. – 2013. – № 3 (23). – P. 73-79.

УДК 697.1

**Б.И. Басок**, чл.-корр. НАН Украины, **С.М. Гончарук**, канд. техн. наук, **О.Н. Лисенко**, канд. техн. наук, **А.А. Луніна**, **Л.В. Олейник**

**Институт технической теплофизики НАН Украины**

#### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СИСТЕМЫ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ**

*В статье представлены результаты энергетического обследования административного здания. Проведенный расчет средних годовых удельных теплотерь на отопление здания и определена целесообразность внедрения комплекса мероприятий по уменьшению потребления тепловой энергии путем установления индивидуального теплового пункта.*

**Ключевые слова:** здание, энергоаудит, отопление, теплотребления, энергосбережения.

Надійшла 13.10.2016

Received 13.10.2016

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

**В.П. Калинчик**, канд. техн. наук, доц., **В.П. Розен**, докт. техн. наук, проф., **С.П. Шевчук**, д-р техн. наук, проф., **А.В. Мейта**, канд. техн. наук, доц.

**Национальный технический университет Украины**

**«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**

#### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ «ДРОБИЛКА-МЕЛЬНИЦА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*В работе рассматривается моделирование работы дробильно-помольного комплекса с применением искусственных нейронных сетей. Моделирование механического процесса измельчение проводится при комплексном учете факторов определяющих его протекание. Построенная модель используется при оптимизации электропотребления мехатронного комплекса. Показано, что при разработке модели дробильно-помольного комплекса учет наибольшего числа факторов и их взаимного влияния возможен при использовании в качестве базовой модели многослойного перцептрона.*

**Ключевые слова:** электропотребление, оптимизация, нейросетевая модель.

© В.П. Калинчик, В.П. Розен, С.П. Шевчук, А.В. Мейта, 2016

**Вступление.** В технологическом процессе участвуют основная среда и дополнительно вводимые компоненты, применяются физико-химические, механические или гидромеханические воздействия, которые осуществляются внутри рабочих пространств аппаратов для получения конечных продуктов (рис. 1) [1]. Дробление и измельчение твердых продуктов и тел относят к механическим процессам, для которых закономерности протекания определяются как внешними воздействиями, так и свойствами самого вещества. Качество процесса определяет его энергоемкость и количественно-качественные показатели выходного продукта.

Один из способов обеспечения рациональных режимов работы технологических механизмов дробильно-сортировочных фабрик – применение систем адаптивного управления, которые относятся к робототехническим системам, элементной базой которых является микропроцессорная техника. Для работы АСУ технологическим процессом необходимо математическое обеспечение, которое адекватно описывает технологические процессы, работу отдельных видов оборудования, участвующих в них.



Рисунок 1 – Общая схема технологического процесса

**Цель и задачи исследования.** Объективная модель измельчающего объекта может быть создана при условии хорошей осведомленности о свойствах изучаемого объекта. Поэтому для создания более полного представления о том, в чем состоит задача автоматизации процесса дробления, необходимо рассмотреть физическую сторону процесса разрушения вещества в измельчающих агрегатах. Измельчаемое вещество может быть описано целым рядом свойств, которые характеризуют вещество, а значит и энергию, затрачиваемую на его разрушение. В практике измельчения вещество обладает следующими свойствами [2]: плотность (истинная и насыпная – для оценки занимаемого веществом объема и расчета других инженерных величин); крепость (оценка сопротивляемости горных пород разрушению); абразивность (способность сыпучих материалов изнашивать при трении соприкасающиеся с ними поверхности); влажность (оценка содержания воды в сырье); сыпучесть (величина, используемая при расчете бункеров, питателей, разгрузочных устройств); кусковатость (характеризует гранулометрический состав вещества); удельная поверхность минерального сырья (показатель при оценке степени измельчения сырья и эффективности его сепарации различными методами); дробимость и измельчаемость (параметры, определяющие протекание процессов разрушения вещества).

Кроме физических свойств вещества существует также ряд технологических переменных, определяющих работу измельчающих агрегатов такие как производительность, крупность исходной руды, шаровая загрузка, ширина разгрузочной щели.

Целью данной работы является разработка модели дробильно-помольного комплекса. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ факторов и параметров определяющих процессы дробления и помола в измельчительных агрегатах, выбор структуры и параметров нейронной сети, соответствующей многофакторной задаче, определение и описание наиболее влияющих на электропотребление факторов.

**Результаты исследований.** Пусть дробильный комплекс состоит из нескольких измельчающих агрегатов, включенных в последовательную работу (рис. 2). Каждый агрегат, входящий в состав комплекса характеризуется некоторой величиной потребляемой мощности либо потребляемой мощностью на тонну измельченного вещества, величина которой зависит от ряда факторов (примем к рассмотрению такие факторы, как масса мелющих тел  $M$ , производительность агрегата  $Q$  и крупность исходного сырья  $T$ ) и крупностью готового продукта [3]. Крупность готового продукта определяется режимом работы агрегата

и временем измельчения, что оказывает влияние на величину потребленной мощности. Отношение крупности продукта на входе к крупности продукта на выходе определяет степень его измельчения  $i$ . Для  $N$  последовательно включенных объектов общая степень измельчения определяется перемножением степеней измельчения на каждой стадии.

$$i = \prod_{K=1}^N i_K . \quad (1)$$

Величина потребляемой мощности для комплекса состоит из суммы электропотреблений отдельных агрегатов.

$$W = \sum_{K=1}^N w_K . \quad (2)$$

При использовании в качестве оптимизационной функции удельного электропотребления следует учитывать, что эта величина определяется не только величиной полученной мощности, но и производительностью. Суммирование удельных электропотреблений возможно только для величин характеризующих один и тот же режим работы комплекса. Тогда общее удельное электропотребление группы объектов (для не изменяющегося от объекта к объекту сырьевого потока – условие совместной работы элементов комплекса, включенных последовательно) определяется суммированием удельных электропотреблений каждой стадии.

$$W_{y\partial} = \sum_{K=1}^N w_{y\partial\_K} . \quad (3)$$

Тогда, задача оптимизации для дробильного комплекса с производительностью изменяющейся в нешироких пределах запишется в виде

$$\begin{cases} W_{y\partial}(Q, i, k_N) \rightarrow \min \\ Q = const \in [Q_{\min}, Q_{\max}] \\ i \geq i_{\partial on} \end{cases} \quad (4)$$

Модель объекта исследований реализуется на базе ИНС. Предварительная подготовка входных векторов данных (отсев малозначимых переменных) снижает длительность процесса обучения, что немаловажно для больших объемов данных в случае многокомпонентных систем. Выбор математического аппарата ИНС для реализации модели объясняется тем, что такие модели обеспечивают адекватность отображения нелинейных многофакторных систем, за счет учета существующих в реальном объекте взаимных связей.

Для моделирования элементов дробильно-помольного комплекса принимается многослойный перцептрон (MLP). Сеть состоит из произвольного количества слоев нейронов. Первый слой называется сенсорным или входным, внутренние слои называются скрытыми или ассоциативными, последний слой – выходным или результирующим. Архитектура сети многослойного перцептрона была предложена в работе Румельхарта и МакКлеланда [4].

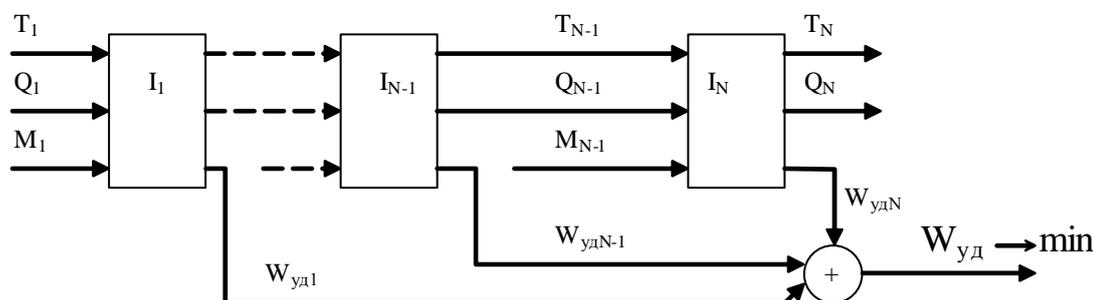


Рисунок 2 – Модель дробильного комплекса

Нейроны каждого слоя соединяются с нейронами предыдущего и последующего слоев по принципу «каждый с каждым». Каждый элемент сети строит взвешенную сумму своих входов с поправкой в виде слагаемого, затем пропускает эту величину активации через передаточную функцию, и таким образом получается выходное значение этого элемента. Элементы организованы в топологию с прямой передачей сигнала. Особое внимание при построении многослойного перцептрона уделяется определению числа

слоев и элементов [5]. Количество входных и выходных элементов определяется условиями задачи, но возможно и интуитивный выбор числа входных переменных. В качестве начального приближения принимают один промежуточный слой, а число элементов в нем полагают равным полусумме числа входных и выходных элементов.

Преимущество MLP состоит в том, что сеть подобной структуры может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции. MLP – сеть отличается способностью к экстраполяции данных и высоким быстродействием после обучения.

Строится нейронная сеть с количеством входов равным максимально возможному числу влияющих факторов и количеством выходов равным количеству целевых величин (рис. 3). Экспертная оценка учитывает текущие приоритеты, а именно какой из параметров для производства считать более важным. Параметры «свойства сырья» и «состояние футеровки» для одной смены работы можно принять постоянными и не учитывать.

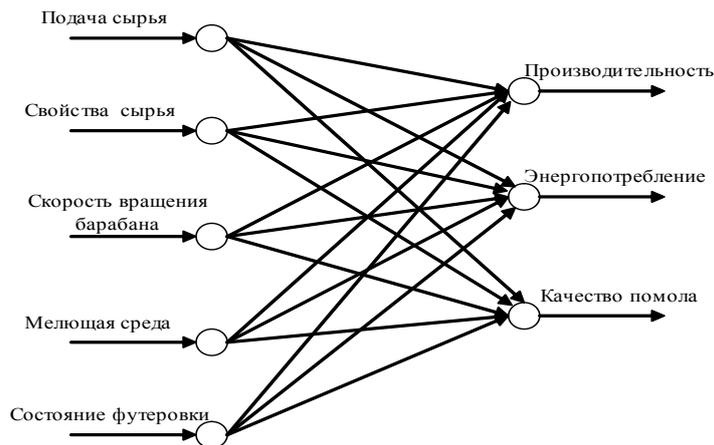


Рисунок 3 – Нейросетевая модель шаровой мельницы.

В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Регулирование работы шаровой мельницы осуществляется, прежде всего, за счет ее загрузки материалом. Для мельниц разомкнутого цикла величина подаваемого питания является основной величиной определяющей производительность мельницы. Количество подаваемого вещества в сочетании с шаровой загрузкой образуют величину циркуляционной нагрузки, которая влияет на расход электроэнергии объекта. Основным из параметров, оказывающих наибольшее влияние на характер графика нагрузки шаровой мельницы, является вес шаров, находящихся в мельнице [6]. График зависимости потребляемой мощности от шаровой загрузки приведен на рис. 2 и характерен для мельницы любого типа. На рисунке точки 1, 2 соответствуют неуравновешенной циркуляционной нагрузке (недостаток шаров); точка 3 – уравновешенная нагрузка, наиболее выгодный режим работы мельницы; точки 4, 5 – циркуляционная нагрузка не уравновешена из-за избытка шаров и уменьшения кинетической энергии;  $P_{xx}$  – мощность, потребляемая мельницей без шаровой загрузки и без питания.

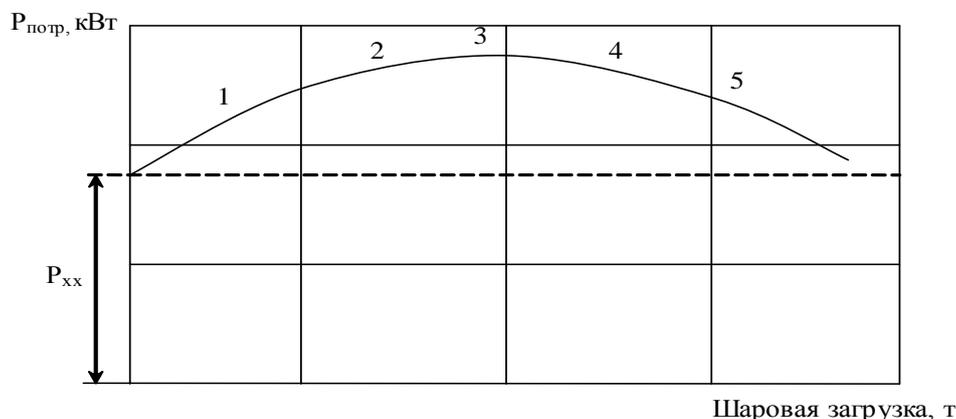


Рисунок 4 – Кривая зависимости мощности, потребляемой шаровой мельницей, от шаровой загрузки

Для шаровой загрузки важным является не только ее масса, но и сортамент загружаемых шаров, поскольку размер шара определяет выполняемую им работу измельчения. При определении необходимого количества догружаемых шаров существует ряд сложностей, связанных с невозможностью точного определения количества и сортамента шаров, оставшихся в мельнице. Величина остатка шаров чаще всего определяется по эмпирическим зависимостям износа шаров. При моделировании условий работы шаровой мельницы необходимо иметь возможность оценить уровень шаровой загрузки в любой момент времени. Данные по шаровой загрузке содержат информацию о времени загрузки, количестве загружаемых тел и количестве шаров в мельнице на момент загрузки. Поскольку догрузка мелющих тел осуществляется не ежедневно, то информация о количестве шаров в мельнице в период между догрузками отсутствует. Поэтому используется аппроксимация по имеющимся данным для нахождения эмпирической формулы зависимости изменения массы шаров в мельнице от времени и вычисления значений шаровой загрузки для требуемых моментов времени. Данные об изменении количества шаровой загрузки приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Изменение количества шаровой загрузки

t	0	10	25	35	60	95	130	180	210	260	300	350	400	435
%	100	93	86	83	76	66	58	52	48	42	40	36	34	33

Износ мелющих тел в мельнице описывается спадающей степенной функцией. Примем для описания зависимость вида  $Y = a \cdot 10^{b \cdot X}$ . Искомая зависимость между степенью заполнения барабана мелющими телами  $P$  (% от нормы) либо весом шаров (тонны) и временем работы мельницы  $t$  возьмем в виде:

$$P = a \cdot 10^{b \cdot t} \quad (5)$$

или, логарифмируя данное выражение, получим линейную зависимость между  $t$  и  $\lg P$ :

$$\lg P = \lg a + b \cdot t \quad (6)$$

Полагая  $t = 0$ , находим коэффициент  $a = 100$ .

Для нахождения коэффициента  $b$  объединяем все опытные данные в одну группу, тогда

$$\sum \lg P = \sum \lg a + b \cdot \sum t, \quad (7)$$

откуда  $b = -0,0141$ .

Таким образом, эмпирическая зависимость, отображающая износ шаров в мельнице по экспериментальным, данным имеет вид:  $P = 100 \cdot 10^{-0,00141 \cdot t}$

Используя численные показатели скорости вращения барабана, массы загруженного вещества и расчетные значения массы шаров осуществляется тренировка сети. Критерием обученности сети считается отображение с заданной погрешностью связи между входным и выходным векторами на обучающей и тренировочной последовательностях. В результате тренировки сети связи между элементами приобретут некоторые значения, которые и будут соответствовать мере значимости каждого параметра. Зная численные значения, определяющие важность параметров, легко записать выражение для целевой функции, учитывающей требования ко всем параметрам. В случае, если возникнет необходимость оценивать результат, отдавая предпочтение другим факторам, то следует перетренировать сеть для нового режима оценки.

Производится анализ сети. Цель анализа выявление элементов связанных в сети каналами с наибольшими весовыми коэффициентами. Элементы входного вектора, связанные с элементами выходного вектора связями с незначительными весовыми коэффициентами признаются факторами, слабо влияющими на процесс и отбрасываются; После того как установлено процесс с какими показателями мы желаем получить можно осуществлять следующий шаг – определить какие факторы и в какой мере определяют протекание технологического процесса. Построив нейронную сеть у которой входы сети будут отражать факторы описывающие свойства вещества, а выходом будут численные данные оценивающие процесс измельчения так же как и в предыдущем случае, проведя тренировку сети на опытных данных, можно получить информацию о степени важности каждого из факторов по значению его весового коэффициента. Таким образом, сеть можно будет упростить, убрав те факторы, влияние которых на процесс минимально. Дальнейшее построение моделей осуществляется только со значимыми факторами.

**Выводы.** При автоматизации управления измельчающим мехатронным комплексом величина потребляемой электрической энергии зависит от свойств измельчаемого вещества и технологических переменных, таких как производительность, крупность исходной руды, шаровая загрузка. При разработке модели дробильно-помольного комплекса учет наибольшего числа факторов и их взаимного влияния возможен при использовании в качестве базовой модели многослойного перцептрона, входной и выходной

вектора которого задаются исходя из условий оптимизационной задачи, а параметры определяются путем обучения на тестовой последовательности.

**Список использованной литературы.**

1. Плановский А.П. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]/ Плановский А.П., Ралем В.М., Качан С.Э. – М.: Госхимиздат, 1962. – 848 с.
2. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник / Под ред. П.Е. Остапенко М.: Недра, 1990. – 212 с
3. Розен В.П. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом/ Розен В.П., Калинин В. П., Мейта А.В. // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.
4. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.-182 с.
5. Каллан Р. Нейронные сети. Пер. с англ. [Текст]/ Каллан Р. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.-280 с.
6. Белых Б.П. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях [Текст]/ Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К. – М., Недра, 1971, с. 248.

**V. Kalinchyk, V. Rozen, S. Shevchuk, O. Meyta**

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ENERGY EFFICIENT CONTROL FOR MECHATRONIC COMPLEX "SHREDDER-MILL"  
WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

*In this article we consider the simulation of crushing and milling complex with the use of artificial neural networks. Modelling of the mechanical grinding process is conducted in complex accounting factors determining its course. The developed model used in the optimization of power consumption of mechatronic complex. It is shown that the development model of crushing and milling complex accounting greatest number of factors and their mutual influence is possible when using as a model of multilayer Perceptron.*

**Key words:** power consumption, optimization, neural network model.

**References**

1. Planovskyy A/ Processes and Apparatuses for chemical technology [Text] / Planovskyy A., Ralem V., Kachan S. - M.: Hoshymyzdat, 1962. - 848 p.
2. Technological evaluation of mineral raw materials. Methods of study: Directory / Ed. P. Ostapenko - M.: Nedra, 1990. - 212 p
3. Rozen V.P. Application of models based on the neural networks for solving of the multi-criteria management task of crushing-grinding complex / Rozen V.P., Kalinchik V.P., Meita A.V // Visnyk NTUU “KPI”, series of “Mining”, 2003, issue # 8. – p. 134-141.
4. The neural network. STATISTICA Neural Networks: Trans. with English. - M.: Hotline - Telecom. 2000.-182 p.
5. R. Callan Neural network. Trans. with English. [Text] / R. Callan - M.: Hotline - Telecom. 2000.-280 p.
6. Belyh B. The electrical load and power consumption at the mining enterprises [Text] / Belyh B., Sverdel Y., Oleynikov V - M., Nedra, 1971, p. 248.

**УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54**

**В.П. Калінчик**, канд. техн. наук, доц., **В.П. Розен**, д-р техн. наук, проф.,

**С.П. Шевчук**, д-р техн. наук, проф., **О.В.Мейта**, канд. техн. наук

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ МЕХАТРОНИЧНИМ КОМПЛЕКСОМ  
«ПОДРІБНЮВАЧ-МЛИН» З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

*В роботі розглядається моделювання роботи дробильно-помольного комплексу із застосуванням штучних нейронних мереж. Моделювання механічного процесу подрібнення проводиться при комплексному обліку чинників, що визначають його перебіг. Побудована модель використовується для оптимізації електроспоживання мехатронного комплексу. Показано, що при розробці моделі дробильно-помольного комплексу облік найбільшого числа факторів і їх взаємного впливу можливий при використанні в якості базової моделі багатошарового перцептрона.*

**Ключові слова:** електроспоживання, оптимізація, нейромережева модель.

Надійшла 02.07.2016

Received 02.07.2016