

Выявленные ряд недостатков как в методах оценки неравномерности графика электрической нагрузки так и в критерии его равномерности. Сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: электроснабжение, график электрической нагрузки, критерий равномерности.

Надійшла 9.12.2013

Received 9.12.2013

УДК 622.331

В.П. Розен, канд. техн. наук, професор; Л.Я. Кулаковський
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ТОРФУ В ПАРОВИХ ТРУБЧАСТИХ СУШАРКАХ

У статті виділено сукупність досліджуваних факторів роботи парової трубчастої сушарки, що включає 33 фактори. Зменшення кількості ознак дозволить скоротити кількість проведених дослідів до прийнятної виробництвом кількості, підвищити швидкість виконання алгоритмів, зменшити загальну похибку моделі та спростити задачу математичного моделювання. Для досягнення цієї мети розроблено методикку стиснення факторного поля для вирішення завдання управління парової трубчастої сушарки за допомогою проведення експертного оцінювання та застосування нейронних мереж, що дозволило виділити основні показники процесу сушіння.

Ключові слова: парова трубчаста сушарка, математична модель, факторне поле, відбір ознак, штучні нейронні мережі.

Вступ. На даний час підприємства України визначили курс на розвиток високих технологій, в першу чергу спрямованих на поліпшення якості кінцевої продукції, зниження її собівартості, підвищення продуктивності існуючого обладнання [1]. Зазвичай, ручне регулювання параметрів сушіння торфу, суб'єктивність у визначенні необхідних режимів, прагнення забезпечити заданий рівень тільки кінцевої вологості сушенки призводять до високих витрат енергоносіїв, низької продуктивності процесу, його пожежонебезпеки [2, 3].

Проблема відбору ознак або формування адекватного факторного поля часто виникає через те, що на етапах постановки завдання і формування даних ще не ясно, які ознаки є надлишковими або дублюють одна одну. Природне прагнення врахувати великий обсяг потенційно корисної інформації призводить до появи надлишкових (шумових) ознак [4]. Крім того, кожна ознака має свою вимірну похибку. Відбір ознак скорочує вартість збору інформації. У практичних завданнях витрати на вимірювання або обчислення окремих ознак можуть бути сумірні з вартістю втрат від помилкових прогнозів [5].

Метою роботи є підвищення адекватності математичної моделі процесу сушіння шляхом відбору інформативних факторів, що мають найбільший вплив на цільові функції процесу сушіння. Це дозволить знайти необхідну кількість параметрів для побудови моделі оптимальної складності.

Матеріали і результати дослідження. Вирішення проблеми підвищення рівня техніко-економічної ефективності процесів сушіння торфу в парових трубчастих сушарках можливе за рахунок комплексного, всебічного, багатфакторного дослідження технології, розроблення оптимальних режимів управління. Їх основу складають математичні залежності зміни техніко-економічних показників, що адекватно описують процес сушіння торфу в установках, які досліджуються.

Аналіз технологічних, фізико-механічних факторів та техніко-економічних показників дозволив виділити вхідні регульовані або керуючі параметри, вхідні нерегульовані або некеруючі параметри та вихідні техніко-економічні показники процесу сушіння торфу в паровій трубчастій сушарці (табл. 1)

Представлений перелік параметрів і вихідних цільових функцій процесу сушіння торфу передбачає отримання складних багатовимірних математичних моделей, при цьому значно збільшується число дослідів під час проведення експериментів, які в умовах діючого виробництва складно реалізувати [6]. У зв'язку з цим є актуальним завдання об'єктивного зниження кількості вхідних показників досліджуваного

процесу сушіння торфу, що дозволить скоротити кількість проведених дослідів до прийнятної виробництвом кількості і спростить задачу математичного моделювання без істотного зниження точності отриманих математичних залежностей зміни техніко-економічних показників від регульованих параметрів і зовнішніх збурюючих впливів.

Таблиця 1

Сукупність досліджуваних факторів роботи парової трубчастої сушарки

Керуючі впливи	Збурюючі впливи	Вихідні параметри
завантаження сушарки сировиною, X_1	вологість торфу, F_1	вологість сушенки, Y_1
частота обертання барабана сушарки, X_2	насипна щільність торфу, F_2	вологорізниця сушенки, Y_2
тиск пари, X_3	зольність торфу, F_3	температура сушенки, Y_3
температура пари, X_4	температура торфу, F_4	теплоспоживання, Y_4
витрата повітря через сушарку, X_5	температура повітря, F_5	температура відхідних газів, Y_5
витрата пари, X_6	вологість повітря, F_6	температура конденсату, Y_6
	сипучість торфу, F_7	продуктивність сушарки по сушенці, Y_7
	фракційний склад торфу, F_8	електроспоживання, Y_8
	ступінь розкладу торфу, F_9	насипна щільність сушенки, Y_9
	вологоміст повітря, F_{10}	фракційний склад сушенки, Y_{10}
	відносна вологість повітря, F_{11}	озолення торфу в процесі сушіння, Y_{11}
	вологорізниця торфу, F_{12}	вологість сушильного агента на виході із сушарки, Y_{12}
	тип торфу, F_{13}	вологоміст відхідних газів, Y_{13}
		продуктивність торфу за вологою, що випаровується, Y_{14}

Аналіз факторів впливу на технологічний процес доцільно розпочинати з експертних оцінок [7], суть якого полягає в опитуванні спеціалістів торф'яної галузі в формі анкетування з метою визначення значимості кожного з наведеного вище параметрів та техніко-економічних показників процесу сушіння торфу в паровій трубчастій сушарці. Для дослідження була сформована група з 12 професіоналів, до якої входили головний енергетик, начальник виробничого відділу, технологи, оператори сушильного обладнання, лаборанти визначення якості торфу та торфобрикету підприємств "Сойне" та "Смигаторф".

Аналіз результатів анкетування полягає у визначенні рангу та коефіцієнту ваги k_i кожного показника процесу сушіння [8].

Кожному параметру, який спричиняє вплив на технологію сушіння, відповідно до його значимості ставився бал від 1 до N , де N - число параметрів у кожній з трьох груп, тобто для керуючих впливів від 1 до 6, для збурюючих – від 1 до 13, а для вихідних техніко-економічних показників – від 1 до 14, причому важливішому фактору ставився менший бал.

В якості характеристики ступеня узгодженості думок спеціалістів застосовувався коефіцієнт конкордації [9]:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^k d^2}{\sum_{j=1}^k d_{\max}^2} = \frac{12 \sum_{j=1}^k d^2}{n^2 (k^3 - k)}, \quad (1)$$

де n – кількість експертів, k – кількість факторів, $\sum_{j=1}^k d^2$ – сума квадратів відхилень

В результаті з 33 факторів, які впливають на процес, були відібрані 20, що на думку експертів є найбільш важливими.

Проведення аналізу факторного поля і енерго-технічних режимів роботи парових трубчастих сушарок торфу та експертного оцінювання дозволив виділити основні фактори та показники процесу сушіння. Регульованими (вихідними) показниками для даного процесу є вологість сушенки Y_1 , вологорізниця сушенки Y_2 , температура сушенки Y_3 , теплоспоживання Y_4 , температура відхідних газів Y_5 , продуктивність сушарки по сушенці Y_7 , електроспоживання Y_8 ; збурюючими – вологість торфу на вході в сушарку F_1 , насипна щільність сировини F_2 , зольність сировини F_3 , температура сировини F_4 , температура повітря F_5 , сипучість сировини F_7 , вологорізниця торфу F_{12} , а регулюючими (вхідними) –

завантаження сушарки сировиною X_1 , частота обертання барабана сушарки X_2 , тиск пари X_3 , температура пари X_4 , витрата повітря через сушарку X_5 (рис. 1).

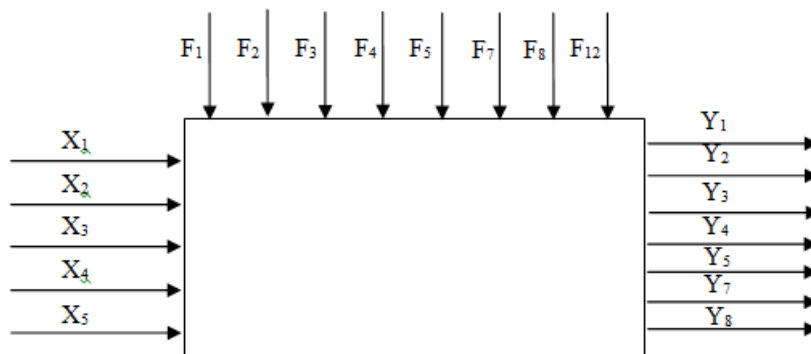


Рис. 1. Модель парової трубчастої сушарки, отримана в результаті експертного оцінювання

Розробка математичних моделей зміни техніко-економічних показників у залежності від керованих параметрів у промислових парових роликів сушарках неможлива без проведення експериментів. Під час їх проведення визначались вхідні та вихідні показники, відібрані в результаті експертного оцінювання при зміні керуючих впливів у регламентованих межах.

Метод експертних оцінок має суб'єктивний характер визначення важливих параметрів процесу сушіння, а дуже велика кількість вхідних та збурюючих факторів сушіння збільшує розмірність задачі й тим самим ускладнює проведення розрахунків, процедуру прийняття рішення, а також збільшує сумарну похибку математичної моделі.

Альтернативний підхід до вибору значущих факторів може бути реалізований за допомогою математичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ). При цьому процедура відбору не має суб'єктивного характеру і відображає тільки існуючі між вхідними та вихідними величинами об'єктивні зв'язки [10, 11]. Даний метод реалізується в кілька етапів:

- будується нейронна мережа з кількістю входів, що дорівнює максимально можливому числу впливових факторів і числом виходів відповідно кількості цільових величин;
- здійснюється тренування мережі. Критерієм навченості мережі вважається відображення із заданою похибкою зв'язку між вхідним і вихідним векторами на навчальній та тренувальній послідовностях;
- здійснюється аналіз мережі. Мета аналізу – виявлення елементів, пов'язаних в мережі каналами з найбільшими ваговими коефіцієнтами. Елементи вхідного вектора, пов'язані з елементами вихідного вектора зв'язками з незначними ваговими коефіцієнтами визнаються як фактори, що слабо впливають на процес і відкидаються. Подальша побудова моделей здійснюється тільки зі значущими факторами.

Вибір математичного апарату ШНМ для реалізації моделі пояснюється тим, що такі моделі забезпечують адекватність відображення нелінійних багатофакторних систем, за рахунок урахування існуючих у реальному об'єкті взаємних зв'язків [12].

Експертна оцінка враховує поточні пріоритети, а саме – який з параметрів для виробництва вважати більш важливим, який менш, які поєднання параметрів прийнятні і в якій мірі. Грунтуючись на результатах експерименту, можна здійснити тренування нейронної мережі. У результаті тренування мережі зв'язки між елементами приймають деякі значення, які і будуть відповідати мірі значущості кожного параметра. Знаючи чисельні значення, що визначають важливість параметрів, можна записати вираз для цільової функції, що враховує вимоги до всіх параметрів. Якщо виникне необхідність оцінювати результат, віддаючи перевагу іншим факторам, то слід змінити значення експертних оцінок і перетренувати мережу для нового режиму оцінки.

Для побудови та дослідження перцептрона використовувалося середовище програмного симулятора Neural Network Toolbox MATLAB 7.1.0 (рис. 2).

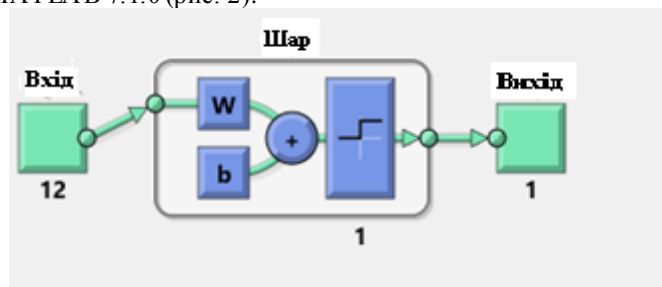


Рис. 2. Модель простого перцептрона

Побудувавши нейронні мережі, у яких входи мережі будуть відображати вхідні та керуючі фактори, а виходом будуть чисельні дані, що оцінюють процес сушіння, а саме – вологість, вологорізниця, температура сушенки, питома собівартість сушіння, продуктивність сушарки по сушенці, провівши тренування мережі на дослідних даних, можна отримати інформацію про ступінь важливості кожного з факторів на цільові функції за значенням його вагового коефіцієнта. Таким чином, мережу можна буде спростити, прибравши ті фактори, вплив яких на процес мінімальний. Шляхом аналізу наявних вхідних та вихідних даних ваги і зміщення, мережі автоматично налаштовуються так, щоб мінімізувати різницю між бажаним сигналом і отриманим на виході в результаті моделювання. Помилка навчання для конкретної конфігурації нейронної мережі визначається шляхом прогону через мережу всіх наявних спостережень і порівняння вихідних значень з бажаними цільовими значеннями. При моделюванні нейронних мереж з лінійними функціями активації нейронів можна побудувати алгоритм, що гарантує досягнення абсолютного мінімуму помилки навчання. Для нейронних мереж з нелінійними функціями активації в загальному випадку не можна гарантувати досягнення глобального мінімуму функції помилки [12].

Оскільки в простому перцептроні має місце лінійна функція активації, в якості експертної системи доцільно використовувати перцептрон Розенблата.

Процедура відбору параметрів має наступні етапи:

1. Визначаємо коефіцієнт ваги кожного вагового коефіцієнта вхідного фактора для кожної функції цілі:

$$K_{\text{в.к.}} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (2)$$

де W_i – ваговий коефіцієнт вхідного фактора вихідного параметру;

n – кількість вхідних факторів.

2. Коефіцієнт ваги кожного вихідного параметру дозволяє визначити загальний коефіцієнт ваги кожного керуючого та збурюючого впливу на математичну модель процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках:

$$K_{\phi} = \sum_{i=1}^n K_{\text{в.к.}i} \cdot K_{y_i}, \quad (3)$$

де K_{y_i} – коефіцієнт ваги вихідного показника процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках.

3. Фактори, в яких значення загального коефіцієнта ваги кожної групи має низьке значення, відкидаються і в подальших розрахунках не використовуються.

В результаті модельних розрахунків визначено остаточний список факторів, що входять до цільових функцій багатокритеріальної задачі і включає в себе: вихідні – $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_7, Y_8$; збурюючі – $F_1, F_2, F_4, F_7, F_{12}$ та регулюючі (вхідні) – X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 .

Таким чином, за допомогою аналізу факторів процесу сушіння торфу оцінюванням анкет експертів торф'яної галузі та визначенням вагових коефіцієнтів нейронних мереж зроблений вибір необхідної сукупності факторів (ознак), що впливають на техніко-економічні показники режиму роботи парових трубчатих сушарок.

Висновки.

1. Запроновано двоетапну процедуру визначення факторного поля управління сушаркою, що включає в себе на першому етапі експертне оцінювання, а на другому – застосування нейронних мереж.

2. Застосування такого підходу дозволило скоротити число факторів наполовину, без зниження інформаційності моделі.

3. Одержана сукупність факторів дозволить у подальших дослідженнях отримати більш прості та зрозумілі математичні моделі процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках і підвищити швидкість виконання алгоритмів.

Список літератури

1. Гриньов А. В. Організація та управління на підприємстві/ А.В. Гриньов// Харків: Вид. дім "ІНЖЕК", 2004. — 329 с.
2. Гнеушев В.О. Брикетування торфу: Монографія. – Рівне: НУВГП, 2010. – 167 с.
3. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа/ В.М. Наумович. – М.: Недра, 1984. – 78 с.

4. Лбов Г. С. Выбор эффективной системы зависимых признаков/ Г. С. Лбов// Новосибирск: Вычислительные системы. — 1965. — Т. 19. — С. 21–34.
5. Загоруйко Н. Г. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей/ Н. Г. Загоруйко, В. Н. Ёлкина, Г. С. Лбов. — Новосибирск: Наука, 1985.- 86 с.
6. Богатов Б.А. Математические методы в торфяном производстве/ Б.А. Богатов, В.Д. Копенкин. — М.: Недра, 1991. — 240 с.
7. Бешелев С.Д. Экспертные оценки/ С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич — М.: Наука, 1973. — 246 с.
8. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок/ С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. — М.: Статистика, 1980. — 263 с.
9. Лагутин М. Б. Наглядная математическая статистика: Учебное пособие/ М. Б. Лагутин. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.- 472с.
10. Білас О.Є. Огляд нейромережєвих застосувань// Вісник Державного університету "Львівська політехніка": Компютерна інженерія та інформаційні технології. - №386. -1999. — С. 68-73.
11. Kappen H.J. An overview of neural network applications/ Foundation for Neural Network SNN. — 1995. — 26 p.
12. Hawley D., Johnson J. Artificial neural networks: Past, Present and Future: an overview of structure and training of Artificial learning systems// Advanced in artificial Intellegence in Economics. JAI Press Inc. — Vol.1.- 1994. —P.1-22

V.P. Rosen, L Ya. Kulakovskiy

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

DESIGN THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING THE FIELD OF FACTORS OF DRYING PROCESS OF PEAT IN THE STEAM TUBE DRYERS

The paper identified a set of causal factors of steam tubular dryers, which includes 33 factors. Reducing the number of features will reduce the number of experiments carried out to an acceptable production quantities increase the speed of the algorithms reduce the overall accuracy of the models and simplify the task of mathematical modeling. Design the method for determining the field of factors of drying process of peat in the steam tube dryers. The method that reduced the field of factors for solving the control problem of the steam tube dryer by using a peer evaluation and application of neural networks was designed for those purpose that allowed identify the main characteristics of the drying process.

Key words: tubular steam dryer, mathematical model, factor field, selection of features, artificial neural networks.

1. Grin'ov A. V. Organization and management on the company / A.V. Grin'ov// Harkiv: Vid. dim "INZhEK", 2004. — 329 s.
2. Gneushev V.O. Peat briquetting: Monografija. — Rivne: NUVGP, 2010. — 167 s.
3. Naumovich V.M. Artificial drying of peat/ V.M. Naumovich. — М.: Nedra, 1984. — 78 s.
4. Lbov G. S. Choosing an effective system of the dependent feature/ G. S. Lbov// Novosibirsk: Vychislitel'nye sistemy. — 1965. — Т. 19. — S. 21–34.
5. Zagorujko N. G. Algorithms to detect empirical regularities/ N. G. Zagorujko, V. N. Jolkina, G. S. Lbov. — Novosibirsk: Nauka, 1985.- 86 с.
6. Bogatov B.A. Mathematical methods in peat production/ B.A. Bogatov, V.D. Kopenkin. — М.: Nedra, 1991. — 240 s.
7. Beshelev S.D. Expert estimates/ S.D. Beshelev, F.G. Gurvich — М.: Nauka, 1973. — 246 s.
8. Beshelev S.D. Mathematical and statistical methods of expert assessments/ S.D. Beshelev, F.G. Gurvich. — М.: Statistika, 1980. — 263 s.
9. Lagutin M. B. Transparent mathematical statistics: Textbook/ М. B. Lagutin. - М.: БИНОМ. Laboratorija znaniy, 2007.- 472s.
10. Білас О.Є. Review of neural network applications// Вісник Derzhavnogo universitetu "L'vivs'ka politehnika": Kompjuterna inzhenerija ta informacijnі tehnologії. - №386. -1999. — S. 68-73.
11. Kappen H.J. An overview of neural network applications/ Foundation for Neural Network SNN. — 1995. — 26 p.
12. Hawley D., Johnson J. Artificial neural networks: Past, Present and Future: an overview of structure and training of Artificial learning systems// Advanced in artificial Intellegence in Economics. JAI Press Inc. — Vol.1.- 1994. —P.1-22

УДК 622.331

В. П. Розен, канд. техн. наук, професор; Л. Я. Кулаковский

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ ПРОЦЕССА СУШКИ
ТОРФА В ПАРОВЫХ ТРУБЧАТЫХ СУШИЛКАХ**

В статье выделены совокупность исследуемых факторов работы паровой трубчатой сушилки, что включает 33 факторы. Уменьшение количества признаков позволит сократить количество проводимых опытов до приемлемого производством количества, повысить скорость выполнения алгоритмов, уменьшить общую погрешность модели и упростить задачу математического моделирования. Для достижения этой цели разработана методика сжатия факторного поля для решения задачи управления паровой трубчатой сушилкой с помощью проведения экспертного оценивания и применения нейронных сетей, что позволило выделить основные показатели процесса сушки.

Ключевые слова: паровая трубчатая сушилка, математическая модель, факторное поле, отбор признаков, искусственные нейронные сети.

Надійшла 15.11.2013

Received 15.11.2013

УДК 621.311.003.13

В.Ф. Находов, канд. техн. наук, доцент; О.В. Бориченко, канд. техн. наук; Д.О. Іванько
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**ВИБІР НЕОБХІДНОГО СКЛАДУ КРИТЕРІЇВ АДЕКВАТНОСТІ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В
СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Дана стаття присвячена питанням вдосконалення підходів до контролю ефективності енерговикористання. Зокрема, проаналізовано необхідність впровадження систем оперативного управління ефективністю енерговикористання. Розглянуто методи математичного моделювання, які можуть бути застосовані для встановлення «стандартів» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності. При виборі методу встановлення «стандартів» енергоспоживання запропоновано проводити їх порівняння за допомогою певних критеріїв адекватності. При цьому з великої кількості відомих критеріїв запропоновано попередньо відбирати такий їх склад, щоб уникнути дублювання їх змісту. Розроблено методичні основи визначення доцільного складу критеріїв адекватності математичних моделей, який полягає у групуванні будь-якого набору відповідних критеріїв за їх змістом з подальшою перевіркою критеріїв, які входять до однієї групи, на «однорідність» з застосуванням методів кореляційного аналізу.

Ключові слова: системи оперативного контролю енергоефективності, «стандарт» енергоспоживання, методи математичного моделювання, критерії адекватності, кореляційний аналіз, метод аналізу середовища функціонування.

Вступ. Підвищення енергетичної ефективності вітчизняних промислових підприємств є одним з стратегічних напрямів розвитку економіки України. Відомо, що значну частину собівартості продукції, виробленої будь-яким промисловим підприємством, складають витрати на енергоресурси. Зважаючи на це, раціональне, ефективне використання палива та енергії на виробничо-господарських об'єктах України дозволить помітно скоротити витрати на виробництво вітчизняної продукції і тим самим зробити її більш конкурентоспроможною на зовнішніх ринках.

Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження не достатньо лише впроваджувати відповідні заходи, а потрібно також систематично здійснювати управління енергоспоживанням, зокрема, оперативно контролювати реально досягнутий рівень ефективності використання паливно-енергетичних