

5 (Отклонения)	19	76,24%	53,96%	76,54%	43,70%	86,34%	77,36%
7	22	92,54%	69,56%	83,05%	67,32%	94,52%	83,71%

Для бинарной структуры (например, руда и пустая порода) скорость бурения и крутящий момент являются достаточными входными параметрами для эффективной оценки, выполняемой нейронной сетью, точность идентификации при этом составляет до 95 % [2]. Как показывают проведенные исследования, для железорудного сырья этого недостаточно. Точность идентификации нейронной сетью с 2 входами составляет всего 54,78 %. Нейронная сеть с 7 входами, обеспечивает точность оценки 83,71 %. Результаты моделирования процесса идентификации геологической структуры нейронной сетью представлены на рис. 2.

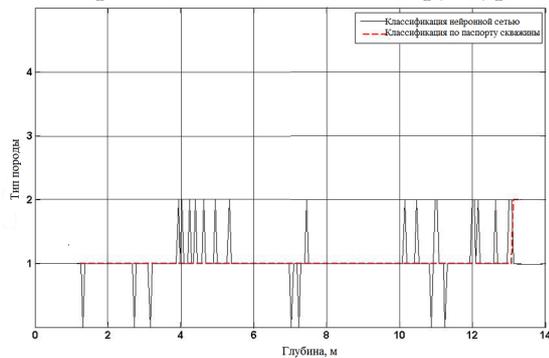


Рис. 2. Идентификация геологической структуры в процессе бурения

Выводы. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что идентификация геологической структуры скважины будет успешной только в том случае, если будет использоваться максимальное количество данных о процессе бурения, а обучающее множество будет включать в себя полный объем информации про все минеральные образования, которые могут встретиться в

процессе проходки скважины.

Список литературы

1. **Lindsay I. Smith.** A tutorial on principal component analysis.,- 2002 http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf
2. **Jorge Martin.** Application of pattern recognition techniques to monitoring-while-drilling on a rotary electric blast hole drill at an open-pit coal mine. / Master's thesis, Queen's University. - 2007
3. **H. Liu, K. Karen Yin.** Using information extracted from drill data to improve blasting design and fragmentation. *Fragblast*. 5 (3): С. 157 – 179, 2001
4. **Natalie Beattie.** Monitoring-while-drilling for open-pit mining in a hard rock environment. / Master's thesis, Queen's University. - 2009
5. Исследование руд на обогатимость: Учебник для вузов / **В.З.Козин.** – Екатеринбург: Изд.-во УГТУ,- 2008. – 312 с.
6. *Neural Network Toolbox 6: User's Guide* : **Howard Demuth, Mark Beale, Martin Hagan** /- Natwick, MA: The MathWorks Inc., - 2008

Рукопис подано до редакції 23.03.13

УДК 621.926: 34.16

Н.В. МОРКУН, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ ЯДЕРНЫХ ФУНКЦИЙ

Изложены основные принципы понижения размерности моделей нелинейных динамических объектов обогатительного производства на основе ядерного метода главных компонент и метода диффузионных карт

Ключевые слова: моделирование, нелинейные динамические объекты, понижение размерности, диффузионные карты, ядерный метод главных компонент

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Оптимизация процессов обогащения минерального сырья требует прежде всего создания строгих математических и экономико-математических методов расчета оптимальных границ разделения $\varphi_{\text{ропт}}$ области изменения физических свойств частиц перерабатываемого сырья [1]. Решение этой задачи позволяет определить как наилучшую структуру технологической линии обогащения, так и параметры технологических агрегатов, обеспечивающие ее максимальную производительность при заданном качестве конечного продукта и минимальных затратах на процесс.

Анализ исследований и публикаций. Как объекты управления технологические агрегаты обогатительного производства могут быть представлены в виде некоторых операторов, преобразующих векторы входных переменных в векторы выходных параметров [2-5]. При

этом, например, выходные параметры процесса измельчения необходимо рассматривать как входные для последующей ступени технологического процесса обогащения. Элементами векторов выходных параметров измельчительных агрегатов являются их качественные и количественные показатели. Основные количественные показатели - производительность по питанию и по готовому классу крупности. Качество измельченного продукта характеризуется плотностью или содержанием твердого в пульпе, гранулометрическим составом твердой фазы, а также показателями качества исходной руды (содержанием полезных компонентов, минеральным составом и т.п.), не зависящими от технологического режима работы цикла измельчения. Таким образом, элементы вектора выходных параметров, формируемые измельчительным переделом (производительность по питанию и его гранулометрический состав), могут быть приняты в качестве управляющих воздействий при решении задач оптимизации процесса обогащения [3,4].

Правильные выводы о качестве ведения технологического процесса можно сделать только на основе достаточно полного множества данных об извлечениях различных по составу и крупности классов исходного материала в конкретных условиях обогатительного производства. Иными словами, информация о поведении в зоне разделения такой сложной системы частиц, как реальная пульпа, может быть представлена совокупностью фракционных извлечений или разделительных чисел по каждой элементарной категории частиц (классу) с известным параметром разделения и крупностью. Чем на большее число таких классов разбит материал, поступающий на сепарацию, тем полнее расчетная информация для технолога или проектировщика о поведении этого материала в зоне сепарации. На основе полученных данных можно регулировать процесс обогащения, изменяя скорость подачи материала (производительность), магнитную силу (магнитная сепарация), реагентный режим (флотация) и т.д. по условию заданного извлечения частиц полезного компонента в концентрат [4,5].

Таким образом, наиболее точную оценку качества работы технологических агрегатов обогатительного производства может дать информация о содержании полезного компонента по всему спектру гранулометрической характеристики перерабатываемой руды. Поскольку эта характеристика является нелинейной функцией с большим количеством входных и выходных параметров, модель этих объектов получается высокой размерности, что делает ее неудобной для анализа и использования при формировании управления технологическим процессом.

Цель исследований. Для выполненной работы является решение задачи понижения размерности моделей нелинейных динамических объектов обогатительного производства на основе метода диффузионных карт и ядерного метода главных компонент.

Изложение материала и результаты. Модели большой размерности успешно применяются во многих приложениях, но их качество зачастую страдает от того факта, что операции с соответствующими множествами данных основаны на Евклидовых расстояниях и не принимают во внимание их распределение в пространстве. Если данные большой размерности лежат на или около кривого множества, то две точки в этом случае могут рассматриваться как близкие точки, тогда как их расстояние по множеству намного больше, чем разделяющее их Евклидово расстояние. Метод ISOMAP [6,7] решает эту задачу, сохраняя попарно геодезические (или криволинейные) расстояния между точечными данными. Геодезическое расстояние - расстояние между двумя точками, измеренное по множеству. В ISOMAP [7] геодезические расстояния между точечными данными x_i вычисляются путём построения диаграммы соседства G , для которой каждая точка данных x_i связана с k её самыми близкими соседями x_{ij} на множестве X . Самый короткий путь между двумя точками формирует оценку геодезического расстояния между этими двумя точками и может быть вычислен, используя алгоритм кратчайшего пути [8]. Геодезические расстояния между всеми точечными данными на X формируют попарно геодезическую матрицу расстояния.

Важная слабость алгоритма ISOMAP – его топологическая неустойчивость [6]. ISOMAP может построить ошибочные связи в G диаграмме соседства. Кроме того, качество преобразования информации методом ISOMAP может пострадать от пропусков данных на исходном множестве, он также может потерпеть неудачу, если множество является невыпуклым [6,7].

Метод диффузионных карт (Diffusion MAP) [9] основан на анализе процесса Марковского случайного блуждания на поле данных. При этом для множества временных шагов определяется мера близости точечных данных. Используя эту меру определяется расстояние диффузии. В

пространстве меньшей размерности полученные расстояния диффузии сохраняются.

В структуре диффузионных карт формируется диаграмма данных с использованием весовых коэффициентов. Для этого применяется Гауссова ядерная функция и матрица W с элементами [6]

$$\omega_{ij} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где σ - Гауссова дисперсия.

Нормализация матрицы W выполняется таким образом, чтобы сумма элементов строк составляла 1. Получается матрица

$$p_{ij}^{(1)} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_k \omega_{ik}} \quad (2)$$

Это выражение является Марковской матрицей, которая определяет вероятности перехода динамического процесса, т.е., матрица $P^{(t)}$ отражает вероятность перехода из одной точки в другую на единственном временном шаге. Соответственно матрица вероятности $P^{(t)}$ для t временного шага соответствует $(P^{(1)})^t$. Вероятности $p_{ij}^{(t)}$ расстояния диффузии при случайном блуждании определяются выражением

$$D^{(t)}(x_i, x_j) = \sum_k \frac{(p_{ik}^t - p_{jk}^t)}{\psi(x_k)^{(0)}} \quad (3)$$

В уравнении (3) $\psi(x_k)^{(0)}$ - член, который присваивает больше веса частям поля данных с высокой плотностью

$$\psi(x_k)^{(0)} = \frac{m_i}{\sum_j m_j}, \quad (4)$$

где $m_i = \sum_j p_{ij}$ для узла x_i .

Из выражения 3 следует, что у пар точек с высокой переходной вероятностью расстояние диффузии небольшое. Ключевая идея понятия расстояния диффузии состоит в том, что оно основано на многих путях через поле данных [9]. Это делает расстояние диффузии более робастным к шуму чем, например, геодезическое расстояние. В поле данных низкой размерности Y , диффузионная карта пытается сохранить расстояния диффузии исходного множества. Используя спектральную теорию для случайного блуждания доказано, что такое представление Y формируется d нетривиальными основными собственными векторами

$$P^{(t)}Y = \lambda Y \quad (5)$$

В пространстве меньшей размерности собственные векторы нормализованы их соответствующими собственными значениями

$$Y = \{\lambda_1 v_1, \lambda_2 v_2, \dots, \lambda_{d+1} v_{d+1}\} \quad (6)$$

Ядерный метод главных компонент РСА (КРСА) является переформулировкой традиционного линейного РСА для пространства большой размерности на основе ядерной функции [10]. КРСА вычисляет собственные векторы из ядерной матрицы, а не из матрицы ковариации. Приложение РСА в ядерном пространстве обеспечивает КРСА возможность формирования нелинейных отборов.

Алгоритм КРСА формирует ядерную матрицу K из точечных данных x_i . Элементы ядерной матрицы определяются выражением

$$k_{ij} = k(x_i, x_j) \quad (7)$$

где k - ядерная функция [6,10].

Затем ядерная матрица K центрируется посредством следующей модификации

$$k_{ij} = k_{ij} - \frac{1}{n} \sum_l k_{il} - \frac{1}{n} \sum_l k_{jl} + \frac{1}{n^2} \sum_{lm} k_{lm}. \quad (8)$$

Операция центрирования соответствует вычитанию остатков в традиционном РСА. При этом вычисляются главные d собственные векторы v_i центрированной ядерной матрицы. Собственные векторы матрицы ковариации α_i (в пространстве большой размерности) являются масштабированными версиями собственных векторов ядерной матрицы

$$\alpha_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} v_i. \quad (9)$$

Чтобы получить представление данных в пространстве меньшей размерности, они проецируются на собственные векторы матрицы ковариации. Результатом проекции (т.е., представление данных в пространстве меньшей размерности) является

$$Y = \left\{ \sum_j \alpha_1 k(x_j, x), \sum_j \alpha_2 k(x_j, x), \dots, \sum_j \alpha_d k(x_j, x) \right\}, \quad (10)$$

где k - ядерная функция, которая использовалась при вычислении ядерной матрицы.

КРСА чрезвычайно чувствителен к выбору ядерной функции k . Возможен выбор ядерной функции в виде линейного ядра (делающий КРСА равным традиционному РСА), полиномиального и Гауссова ядра [10].

На рис. 1 в качестве примера приведены результаты представления при помощи программного продукта MANI [11] в пакете Matlab кластерной информации в пространстве меньшей размерности рассмотренными выше методами. Исходные данные (1200 точек), сгруппированные в 9 кластерах, были представлены в пространстве меньшей размерности. Для этого методу КРСА потребовалось 0,11193 с, ISOMAP - 1,0481 мин., Diffusion MAP - 0,81918 с.

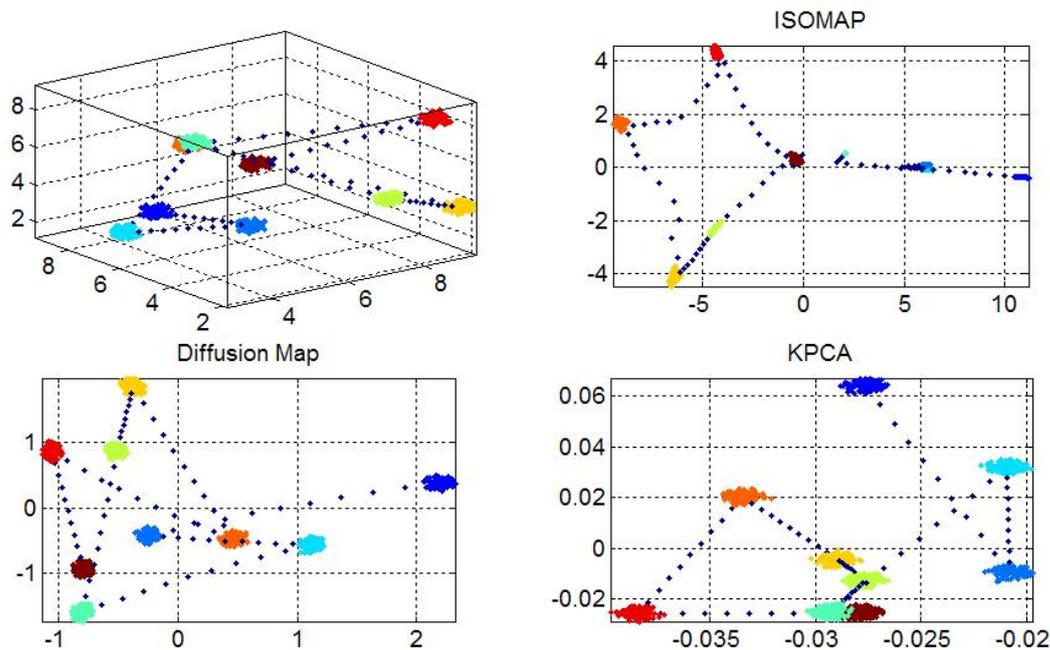


Рис. 1. Результаты представления кластерной информации в пространстве меньшей размерности различными методами

Выводы. Анализ методов понижения размерности моделей объектов управления обогатительного производства, представленных в виде структур (операторов), преобразующих содержание полезного компонента по всему спектру гранулометрической характеристики перерабатываемой руды, показал перспективность подходов на основе ядерных функций. КРСА осуществляет нелинейную проекцию исходных данных на пространство меньшей размерности. Это чрезвычайно быстрый метод, что позволяет рекомендовать его для первичной обработки данных. Метод диффузионных карт является очень чувствительным к параметру сигма в гауссовом ядре. Метод ISOMAP хорошо справляется с данными большой размерности, но очень чувствителен к шуму, является очень медленным и плохо воспроизводит геометрию множества.

Список литературы

1. Тихонов О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. - М.: Недра, 1984, 208 с.
2. А.Дж. Линч. Циклы дробления и измельчения / Линч А.Дж. - М.: Недра, 1981. - 342 с.
3. Процуто В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами обогатительных фабрик. - М.: Недра, 1987. - 253 с.
4. Моркун В.С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: / В.С. Моркун. - Дисс. ... докт. техн. наук: 05.13.07. - Кривой Рог,

1999. - 401 с.

5. **Подгородецкий Н.С.** Энергоэффективное адаптивное управление замкнутым циклом измельчения руды на базе гибридной нечёткой модели / Н.С. Подгородецкий: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2011. - 24 с.

6. **L.J.P. van der Maaten.** An Introduction to Dimensionality Reduction Using Matlab. - Maastricht, 2007. – 42 p.

7. **J.B. Tenenbaum.** Mapping a manifold of perceptual observations. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 10, pages 682–688, Cambridge, MA, USA, 1998. The MIT Press.

8. E.W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1:269–271, 1959.

9. **S. Lafon and A.B. Lee.** Diffusion maps and coarse-graining: A unified framework for dimensionality reduction, graph partitioning, and data set parameterization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(9):1393–1403, 2006.

10. **B. Scholkopf, A.J. Smola, and K.-R. Muller.** Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem. *Neural Computation*, 10(5):1299–1319, 1998.

11. **Todd Wittman.** *Manifold Learning Techniques*. Spring. – 2005. – Режим доступа:

<http://www.math.ucla.edu/~wittman/mani/>

Рукопись поступила в редакцию 21.01.13

УДК 622.795.4.001.57

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., О.О. СПІВАК, студент

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШИХТИ МІЖ БУНКЕРАМИ АГЛОМАШИНИ

Проаналізовано особливості сучасних автоматизованих систем керування автостеллою, призначеною для завантаження в бункерів шихтою, визначено та враховано основні їх недоліки. З використанням розробленого віртуального приладу завантаження шихти між бункерами агломашини, змодельованого у графічному середовищі LabView, наведено дослідження режимів роботи автостелли і отримано результати продуктивності завантаження шихти в бункери з різними визначеннями часу їх загрузки, зі зміною швидкості конвеєрної стрічки та швидкості переміщення візка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. З розвитком автоматики та обчислювальної техніки створюються сприятливі умови для вдосконалення процесу управління та підвищення продуктивності праці на аглофабриках. Безперервний потоковий характер агломераційного виробництва сприяє прискореній реалізації цього завдання. Найбільш повно вирішуються питання процесу подачі шихти, які включають автоматичне управління такими операціями, як подача і розподілення шихти між бункерами агломераційних машин.

У сучасному виробництві на збагачувальних фабриках використовують бункери для тимчасового накопичення шихти. Вже зараз існують автоматизовані системи призначені для автоматизації процесу завантаження шихти в бункери. Справжня АСУТП самодостатня, але може бути підсистемою АСУТП більш високого рівня.

Завдання такої АСУТП вирішується шляхом автоматичного управління конвеєрами і переміщенням завантажувальних катучих конвеєрів - автостелл, уздовж лінії бункерних прольотів залежно від ступеня заповнення кожного бункера. При цьому використовуються наступні первинні перетворювачі: датчик швидкості стрічки конвеєру, ультразвукові рівнеміри для контролю рівня шихти в бункерах, ультразвукові рівнеміри для контролю положення автостелл, або радарні рівнеміри, датчики сходу стрічки, тощо.

Аналіз досліджень та публікацій. Найбільш відомою є автоматизована система управління завантаження шихти в бункери [1]. Датчики швидкості стрічки конвеєрів дозволяють контролювати інтенсивність подачі шихти в завантажувальну автостеллу, що переміщається по рейці вздовж лінії бункерів. Положення автостелли щодо бункерів визначається ультразвуковим рівнеміром, орієнтованому в горизонтальному напрямку. Ультразвукові рівнеміри контролюють рівень шихти в бункерах. При заповненні бункера, автостелла переміщається до наступного бункера.

Щоб уникнути значного спотворення інформації про ступінь заповнення або розвантаження бункера (через ефект конус-воронка) на бункери великого обсягу рекомендується встановлювати не менше двох датчиків рівня, орієнтованих по діагоналі.

Сигнали з датчиків передаються на станції вводу-виводу (СВВ) станції польового управління (СПУ) існуючої мережі АСУТП збагачувальної фабрики, де вони обробляються, і що виробляються сигнали управління, які передаються до виконавчим механізмам. До модулів СВВ підводиться також інформація про роботу електродвигунів транспортерів і вібраторів, а також