

А.А. Сенько, А.И. Купин

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАБОТЫ СЕКЦИИ ОБОГАЩЕНИЯ

Аннотация. Исследованы возможности использования различного математического аппарата для создания моделей оперативного прогнозирования. Созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного управления производственными процессами. Нелинейная зависимость производительности от коэффициента шаровой загрузки позволяет получить приемлемые показатели производительности при снижении расхода шара до 5%.

Ключевые слова: data mining, кластеризация, обогащение, Scada.

Процесс измельчения сырья, который широко используется в различных отраслях промышленности, характеризуется высокой ресурсоемкостью и во многом определяет качество дальнейшей переработки сырья. Однако существующий уровень автоматизации процессов измельчения не обеспечивает ведения стабильного и оптимального по параметрам процесса.

На сегодняшний день уровень автоматизации процессов измельчения на различных предприятиях изменяется от практически нулевого уровня до достаточно развитых систем интеллектуальной поддержки управлением процесса измельчения. При этом наиболее типичные задачи автоматизации решаются посредством введения контуров стабилизации соответствующих технологических параметров: стабилизация расхода руды в мельнице; стабилизация соотношения «руда-вода» посредством подачи воды в мельницу; стабилизация плотности слива классифицирующего аппарата (классификатора или гидроциклона) подачей дополнительной воды в классификатор или зумпф.

Примерно в 95% случаев автоматизация процессов измельчения ограничивается этими задачами. Однако решения, которые существуют на сегодняшний день, не полностью удовлетворяют как технологов, так и инвесторов.

Одним из методов повышения эффективности автоматизации измельчения, который позволяет отследить в определенной мере изменяющиеся свойства руды и условия измельчения, является контроль объемного заполнения мельницы рудой.

Стабилизируя объемное заполнение на заданном уровне, можно в определенной степени подстраивать текущую производительность под изменяющиеся условия. Поддерживая объемное заполнение на максимально возможном уровне, можно добиться следующих результатов:

- использовать мельницу в режиме максимально возможной в данных условиях производительности;

- снизить абсолютный и удельный расход электроэнергии, что объясняется известным положением, утверждающим, что минимум энергии разрушения достигается при максимуме возможного объемного заполнения;

- стабилизация объемного заполнения в определенной степени стабилизирует циркуляционную нагрузку. Это объясняется тем, что последняя состоит из двух частей: циркуляционного объема, находящегося в мельнице и объема, находящегося в контуре классифицирующего аппарата. Стабилизация циркуляционной нагрузки в некоторой степени улучшает стабилизацию плотностного режима при поддержании соотношения «руда-вода».

К сожалению, прямые методы контроля объемного заполнения мельницы рудой отсутствуют. С другой стороны, существует ряд косвенных методов измерения объемного заполнения мельницы рудой.

В работе [2] описан способ автоматического контроля заполнения мельниц с помощью магнитомодуляционных датчиков.

Достоинством магнитомодуляционного датчика является возможность индикации угла отрыва шаров в мельнице. Недостатками датчика являются низкая надежность вследствие наличия скользящего контакта и токосъемных шин для передачи информации, необходимость переделки футеровки мельницы, громоздкость, сложность и высокая стоимость оборудования, износ немагнитной вставки в футеровке мельницы.

В [2] приводится описание радио-телеизмерительного датчика шума мельницы, предназначенного для регистрации степени заполнения мельниц рудой.

Радиотелеметрический способ контроля загрузки мельниц дает невысокую точность вследствие того, что модуляция телеизмерительного датчика возникает раньше, чем датчик входит в зону перехода шаров с круговых траекторий на параболические и в зону перехода шаров с параболических траекторий на круговые, и оканчивается позже, чем датчик выходит из этих зон.

Кроме того, РИЗМ не удалось применить для автоматического контроля загрузки рудой шаровых мельниц из-за особенности их работы в водопадном режиме. Эти недостатки не позволяют применять РИЗМ для надежного определения загрузки рудой мельниц мокрого самоизмельчения и шаровых мельниц. Авторами работы [4] предлагается контролировать шаровую загрузку мельницы по активной мощности приводного двигателя мельницы. Угол отклонения центра тяжести определяется силами внутреннего трения в мельнице, которые зависят от физико-механических свойств исходной руды, плотности пульпы в мельнице, профиля и степени износа футеровки и другими факторами. Поскольку в процессе нормальной работы мельницы вышеуказанные факторы являются переменными величинами, силы внутреннего трения изменяются, и однозначно судить о шаровой загрузке мельницы только по активной мощности приводного двигателя мельницы не представляется возможным [5].

Процесс измельчения материала в шаровой мельнице сопровождается излучением звуковой энергии, возникающей из-за соударений шаров и материала друг с другом и о футеровку. Считается, что сила звука, излучаемого мельницей, зависит от величины загрузки мельницы рудой [6].

Одним из известных методов является контроль акустического или вибрационного шума мельницы. Наиболее известными являются разработки ОАО «Союзцветметавтоматика» «Звук-7» (акустический шум) и УРК-3 (вибрационный шум). Развитием этих разработок является виброакустический анализатор ВАЗМ-1, который является универсальным интеллектуальным прибором нового поколения, реализованном на базе РС-совместимого контроллера.

Прибор использует три типа шумовых параметров: акустический шум, вибрационный шум, энергетический шум. Однако, некоторое повышение точностных характеристик прибора достигается за счет обработки трех видов сигналов, а не за счет формирования ин-

формативных признаков для контроля объемного заполнения мельниц рудой.

Вышесказанное подтверждает вывод о целесообразности выбора и разработки перспективных методов контроля технологических объектов управления по процессам, сопровождающим функционирование технологических объектов управления.

Принципиально новые возможности получения эмпирической информации об обогатительных процессах открываются с внедрением на обогатительных предприятиях автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control And Data Acquisition – SCADA-систем). Основной аспект новизны описываемой технологии заключается в интеграции созданных авторами моделей и средств компьютерного моделирования инженерных задач с действующими на промышленных предприятиях SCADA-системами с целью расширения их функциональных возможностей адаптивными средствами оперативного прогнозирования.

С целью обнаружения «скрытых» связей между параметрами производственного процесса обогащения руды, которые могут влиять на его ход, были использованы методы Data Mining.

Для формирования моделей отображения пространства входов производственного процесса обогащения сырья на пространство его выходов проведена обработка на примере данных работы мельницы, собранных на протяжении месяца. Фрагмент данных приведен в таблице 1.

Таблица 1

Статистика работы мельницы

0-10	10-20	+20	K	Fe	Fe mag	Q ore
60,3	26	13,7	46,5	29,87	20,45	139
45	41	14	43,5	29,87	20,45	135
38,5	54,9	16,4	40,5	31,62	22,2	134
29,1	53,7	17,2	43,5	31,62	22,2	124
47,44	39,08	13,48	46,5	31,47	22,08	133
38,4	46,84	14,16	43,5	31,47	22,08	121
40,89	42,35	16,76	43,5	32,88	23,28	113
37,6	40,77	21,63	46,5	32,88	23,28	99

Всего было произведено 95 замеров по 7 параметрам (классу крупности, коэффициенту шаровой загрузки мельницы, содержанию

железа, содержанию магнитного железа и производительности мельницы).

Отобранные параметры были подвергнуты кластерному анализу. После обработки данных используя the Microsoft Clustering algorithm было получено 5 кластеров. Профили полученных кластеров представлены в таблице 2. Из них выделены те, в которых параметр производительности приобретает максимальные значения. Данным требованиям отвечают Cluster 2 и Cluster 3. Cluster 3 имеет более высокие значения показателя Qore с учетом отклонения от среднего значения, поэтому его параметры были выбраны в качестве оптимальных для работы секции обогащения.

На основе анализа ретроспективных данных мониторинга проводится классификация (кластеризация) пространств входов и выходов с целью выделения областей, соответствующих определенным состояниям процесса. В пространстве Y (выходы) определяются области «желаемых» исходов $Y+$, соответствующие регламентным значениям как характеристик продуктов разделения, так и параметров процесса. Структура базы данных мониторинга позволяет определить для каждой представленной в базе «точки» Y_i пространства Y соответствующую ей «точку» X_i пространства X (входы). С практической точки зрения это означает, что по данным мониторинга всегда можно определить, при каких условиях был получен тот или иной результат. Следующим шагом технологии является формирование моделей, описывающих отображения областей пространства X в области пространства Y . Полученные модели при оперативном управлении обеспечивают предсказание характеристик выходов Y_t по текущим значениям входов X_t , а в случае негативного прогноза позволяют оперативно определить наиболее рациональный вариант воздействия на процесс, обеспечивающий возвращение выходных характеристик к требуемым значениям.

Cluster profiles

Variab les	States	Population	Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 5	Cl 4
Size		66	23	19	10	7	7
_20	Mean	15,15	17,02	14,11	11,63	18,89	13,57
_20	Deviation	3,93	3,99	2,4	3,75	3,4	1,57
0_10	Mean	44,4	37,59	44,54	59,73	35,63	50,4
0_10	Deviation	11,54	9,53	5,91	11,29	7,5	5,65
10_20	Mean	40,63	45,4	42,02	28,49	45,51	36,03
10_20	Deviation	9,54	8,49	6,24	9,7	5,9	5
Fe mag	Mean	21,96	21,84	22,2	21,84	22,34	21,54
Fe mag	Deviation	0,42	0,05	0,12	0,22	0,67	0,75
Fe	Mean	31,28	31,13	31,58	31,14	31,76	30,8
Fe	Deviation	0,5	0,15	0,14	0,27	0,8	0,8
Q ore	Mean	129	124,53	135,55	136,37	112,89	129,36
Q ore	Deviation	11,48	7,51	6,92	7,65	17,23	8,32
К	43,5	37	0,602	0,456	0,339	0,86	0,7
К	46,5	17	0,398	0,264	0,095	0,14	0,177
К	40,5	12	0	0,279	0,566	0	0,123
К	missing	0	0	0	0	0	0

Специфика задач формирования моделей обогатительных процессов предполагает реализацию большого объема вычислений. В связи с этим актуально определение наиболее рациональных вариантов организации вычислительного процесса. Для решения обозначенной проблемы предложена концепция и архитектура информационной системы, которая должна обеспечить интегрированное представление и систематизацию классов решаемых задач и разнородных исполнителей (используемых программных средств).

Выводы

Исследованы возможности использования различного математического аппарата для создания моделей оперативного прогнозирования. Наличие больших объемов данных, полученных в результате функционирования SCADA-систем, обеспечивает создание и практическое применение моделей, основанных на методах Data Mining в сочетании с методами нейронных сетей и нечеткой логики. В ходе анализа были выделены кластеры высокого уровня производительности мельницы. Для получения кластеров использованы Microsoft Clustering algorithm (включающие метод the Expectation

Maximization и K-means clustering). Созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного управления производственными процессами. Нелинейная зависимость производительности от коэффициента шаровой загрузки позволяет получить приемлемые показатели производительности при снижении расхода шара до 5%. Наиболее рациональным для прогнозирования многостадийных схем обогащения минерального сырья представляется вариант комбинированных решений, предполагающий совместное использование разнотипных моделей для различных состояний обогатительного процесса или различных операций технологических схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Улитенко К.Я. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / К.Я. Улитенко // Цветные металлы. Специальный выпуск. - 2005. - № 10. - С. 54-60.
2. Гринман И.Г. Измерения степени загрузки мельницы рудой с помощью телеизмерительного датчика / И.Г. Гринман, Ж.М. Сакбаев, Ж.Р. Жотобаев // Обогащение руд. - 1962. - №1. - С. 27-29.
3. Гейзенблазен Б.Е. Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения / Б.Е. Гейзенблазен, Л.Т. Лорман, М.Н. Левченко // Обогащения руд. - 1978. - №2. - С.38-41.
4. Гончаров Ю.Г. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / Ю.Г. Гончаров, А.С. Давидкович, Б.Е.Гейзенблазен. - М.: Недра, 1968. - 277 с.
5. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. - 1973. - №2. - С. 23-28.
6. Утеуш Э.В. Управление измельчительными агрегатами / Э.В. Утеуш, З.В. Утеуш - М.: Машиностроение, 1973. - 280 с.