

## ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕПАРАБЕЛЬНОЙ МАКРОМОДЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ

Ариненков Ю.Д.

175-181

Донецкий государственный технический университет

*Рассмотрены вопросы оптимизации структуры сепарабельной макромодеи обогащения с осуществлением последовательных вычислений параллельных технологических потоков на основе теории очередей. По результатам выполненных имитационных исследований установлено, что для оптимизации кинетики переходов параметров макромодеи обогатительной технологии необходимо обеспечить оптимальную добавку воды в схему, а в модель каждого объекта включить модели авторегуляторов её подачи и распределения. Имитационными исследованиями кинетики такого моделирования установлена возможность и разработан алгоритм периодизации очереди процессов по факту обнуления флагов на всех объектах. В результате получена быстрая непрерывно действующая макромодеи обогатительной экологически чистой технологии с минимизацией сброса оборотной воды и невязкой материального баланса, не превышающей  $10^{-5}\%$ .*

*Questions of optimization of structure of separable macro model of enrichment are considered and her decision the application of regulators of distribution of water and determination "of the special moment" by a principle of guaranteed service by computing process of each object is given.*

Решение вопросов автоматизированного управления обогатительной технологией сдерживается отсутствием обоснованных моделей объектов и методов расчёта схем с минимизацией невязки баланса [1]. Между тем, из практики промышленного применения известно, что реальные технологические процессы и схемы обогащения полезных ископаемых работают совершенно устойчиво и без проблем по невязке баланса. Следовательно, причина появления невязки баланса кроется в некорректном применении традиционных вычислительных методов к системам с параллельными

потоками.

Параллельные вычисления могут быть выполнены на аналоговых или на цифровых вычислительных машинах. Пионером применения аналоговых вычислительных машин для параллельных вычислений в горном деле в Украине является Святный В.А. (ДГТУ). Аналоговые вычислительные машины позволяют системно моделировать разделительные процессы без каких-либо проблем, но теперь предпочтительны современные цифровые вычислительные машины: они более мобильны и распространены значительно шире, кроме того, разработано большое количество различных ЭВМ с параллельно работающими процессорами, вплоть до векторных суперЭВМ CRAY, массивно-параллельных суперкомпьютеров Hitachi SR-8000 и более мощных IBM в США.

Задача моделирования обогатительной технологии может быть сведена к последовательному описанию многомерных многокомпонентных параллельных ветвей схемы при наличии в ней циркуляций многомерных материальных потоков на основе элементов теории очередей - посредством специальных соглашений о порядке организации очереди [2]. Возникающая при этом очередь - самоорганизующаяся, и никакие другие факторы на организацию очереди не влияют и она во внешнем воздействии не нуждается.

Расчленение технологической схемы на якобы сепаратные составляющие её схему основных процессов и водно-шламовую схему приводило к потере существенных параметров всей технологической схемы и снижало точность её моделирования. К числу таких параметров относятся прежде всего поступление воды в каждый процесс и распределение воды по продуктам обогащения. Поэтому, для поддержания заданной влажности поступающего на обогащение угля, предлагается в модель каждого объекта технологической схемы и на вход самой модели схемы включить модели авторегуляторов подачи воды, а для обоснованного распределения воды по продуктам обогащения - модели соответствующего распределения.

Такой подход к моделированию объектов и схем обогатительной технологии предложен и реализован впервые.

Моделирование технологии обогащения как неразделимого целого на предлагаемой основе перенесло проблему из области

изучения связей сепаратных моделей схемы в область совершенствования и типизации описания моделей конкретных технологических объектов, что, благодаря усилиям многих исследователей, уже достаточно существенно продвинуто к точному знанию цели моделирования обогатительных процессов и методов достижения этой цели. Для имитационной проверки эффективности предложенного алгоритма была разработана программа реализации макромоделей технологической схемы на основе типизации моделей отдельных объектов.

Основу сепарабельной модели типового объекта сепарации составляют массивы данных ситового и фракционного составов исходного материала, методы *knot*- и *area*-продолжения ситового и фракционного массивов и синтеза характеристик продуктов обогащения без применения аналитических функций [3] (что предопределило графическую форму представления результатов имитационного, а не традиционного аналитического, исследования) и критерии сепарабельности обогащаемого материала и селективности процессов [4].

Изучались стилизованные простейшие схемы, недостаток которых очевиден. Установлено, что накопление шлама в технологической схеме продолжает кинетику вычислительного процесса (по количеству шагов) в тысячу раз и создаёт заметные автоколебания невязки баланса. Подавить эти колебания можно уменьшением коэффициента передачи системы, в качестве которого выступает параметр содержания твёрдого в оборотной воде.

Исследование макромоделей показало также, что в некоторых ситуациях появляется положительная невязка баланса, которая и по завершении кинетического перехода не устраняется, как это можно было бы ожидать. Тщательный анализ выявленных подобных ситуаций позволил найти простую закономерность: "неустраняемая" невязка баланса возникает, когда количество поступающей в схему воды меньше количества выходящей воды с продуктами. Следовательно, настройка модели на рациональную подачу воды в начало технологической схемы придаёт ей принципиально новые и полезные свойства.

Такой метод самонастройки макромоделей обогатительной технологии предложен и программно реализован впервые, модель оказа-

лась максимально быстродействующая, с минимальным накоплением шлама в оборотной воде и минимальным сбросом её, что соответствует экологически чистой технологии.

Пример состояния водно-шламовых потоков анализируемой схемы с плохо наблюдаемыми топологическими ошибками (фрагмент) показан на рис.1.

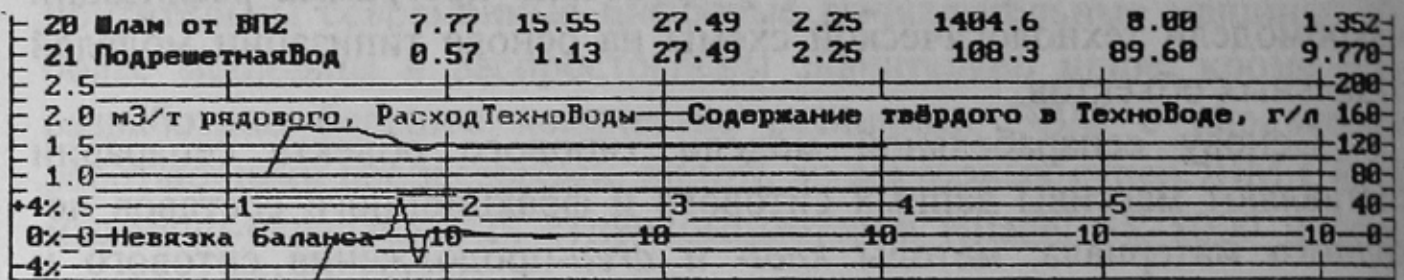


Рисунок.1 - Пример кинетики параметров макромоделли с плохо наблюдаемыми топологическими ошибками

Из рисунка видно, что по завершении перехода содержание твёрдого в оборотной воде возрастает до неприемлемой величины 116,9 г/л.

Пример оформления дисплея макромоделли столбиковыми диаграммами параметров, сгруппированными в самостоятельные нумерованные блоки информации для каждого процесса, показан на рис.2.

Диаграмма в нижней части дисплея позволяет проследить сразу за всеми параметрами и за всеми процессами по характеру перехода параметров после включения модели и после внесения изменений в её настройки, а также облегчает выбор к настройке ещё не настроенных процессов.

В данном примере на столбиковых диаграммах для всех 59 продуктов отражены  $59 \times 2 = 118$  параметров. Числовой дисплей позволяет просмотреть в желаемом порядке для каждого процесса и для каждого продукта по выходу, производительности, золе, сере, влажности, содержанию твёрдого и количеству поступающей воды все  $(36 + 59) \times 7 = 665$  параметров, включая 118 показываемых в столбиковых диаграммах. Информация о дифференциальных параметрах всех продуктов схемы по классам крупности, фракциям плотности, качеству и поступающей воде для каждого процесса

сохраняется в специальном файле в количестве  $(3 \times 6 \times 4 + 1) \times (36 + 59) = 6935$  числовых значений.

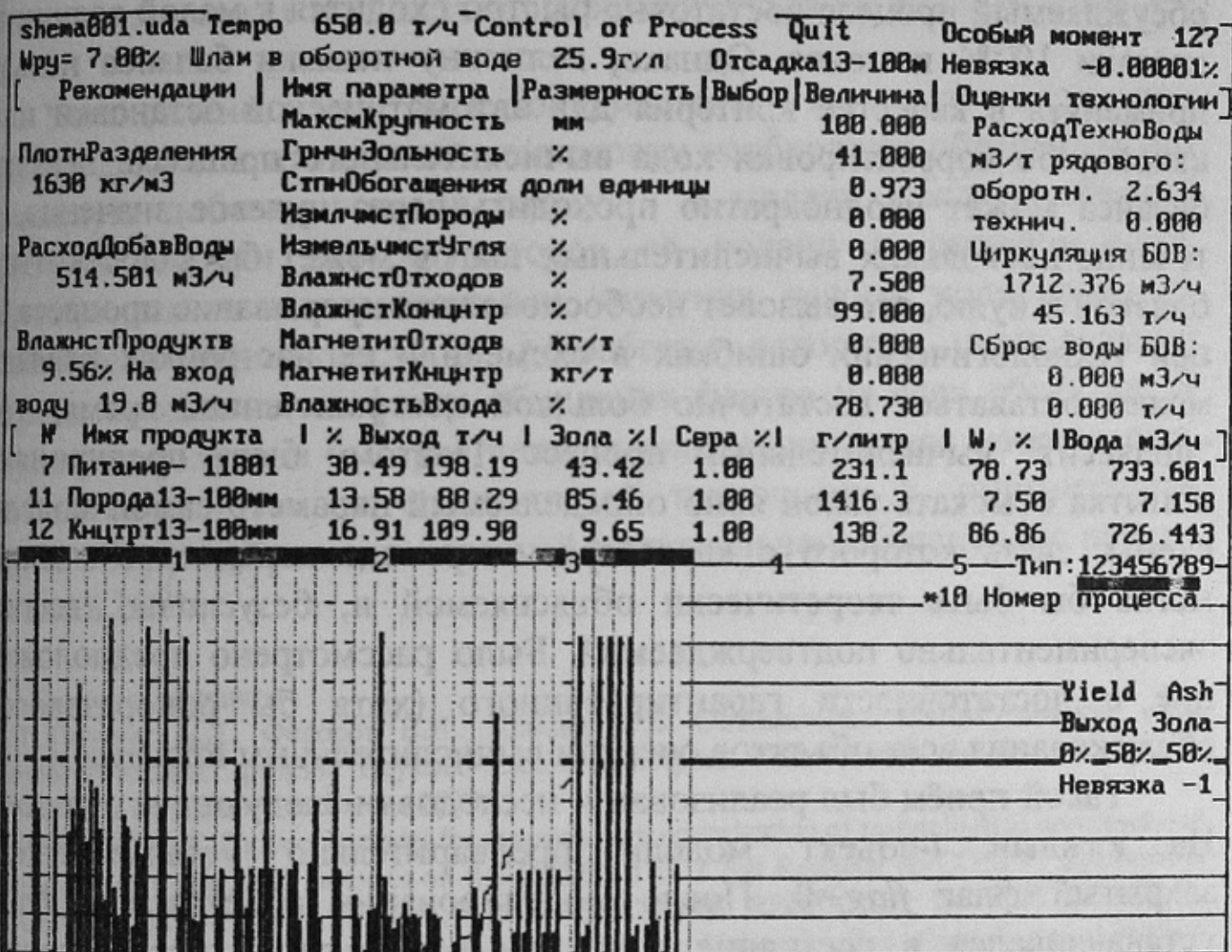


Рисунок 2 - Применение столбиковой диаграммы состояния макромодели.

Все эти данные в систематизированной форме в количестве  $6935 + 665 = 7600$  значений выводятся на экран и (или) принтер. К сравнению с предыдущим, заметим, что для нахождения искомым 6935 значений из гипотетической системы линейных уравнений потребовалось бы составлять и решать матрицу с количеством элементов 48094225. Проблематичность такого подхода очевидна.

Так как в реальных технологических схемах всегда имеются циркуляции потоков продуктов, то метод запоследования параллельных вычислений на основе теории очередей в моделях таких схем приводит к неубывающей очереди. Для практических приложений, особенно в динамических моделях, требуется, чтобы

переходный процесс был конечным, быстрым и при этом достаточно точным. Имитационными исследованиями установлено, что обсуждаемый процесс достаточно быстро сходится к малой величине невязки  $10^{-5}\%$  и менее. Однако, величину невязки баланса нельзя применять в качестве критерия для автоматической остановки или какой-либо корректировки хода вычислительного процесса: невязка баланса может неоднократно проходить через нулевое значение, в течение нескольких вычислительных шагов может быть достаточно близкой к нулю, что вызовет необоснованное прерывание процесса, а при технологических ошибках в схеме или её настройках невязка может оставаться достаточно большой неограниченное время, что "подвесит" вычислительный процесс. Поэтому была предпринята попытка отыскать такой явно определяемый параметр самой модели схемы, связь которого с характером перехода параметров модели могла бы быть теоретически объясняемой и, безусловно, всегда экспериментально подтверждаемой. Было рассмотрено предположение о достаточности гарантированного (хотя бы одноразового) обслуживания всех объектов очереди вычислительным процессом.

Такой приём был реализован и исследован следующим образом. На каждый  $i$ -объект модели предварительно устанавливался закрытый флаг  $flag_i=0$ . После моделирования объекта его флаг устанавливался в состояние  $flag_i=1$  и вычислялось произведение значений флагов всех объектов. Как только это произведение оказывалось равным единице (когда каждый из всех процесс хотя бы один раз обслужен вычислительным процессом), очередь прерывалась и устанавливалась в прежнюю начальную позицию, все флаги обнулялись и вычислительный процесс продолжался.

В результате имитационного эксперимента на модели технологической схемы ЦОФ Киевская изложенным методом найден размер периодической очереди 78, количество вычислительных шагов снижения невязки до допустимого уровня составило  $10^{3,2}=1584$ . Моделирование с периодизацией очереди по факту гарантированного обслуживания вычислительным процессом всех объектов схемы оказывается в 4 раза длиннее (в смысле количества шагов кинематики перехода), чем моделирование без прерывания очереди, но теперь появляется возможность просматривать любой объект и настраивать его управляющие параметры, вводить новое

питание в схему, наконец, квантовать модель схемы в реальном времени при учёте динамических свойств системы. Особый момент определяется в макромоделли каждый раз и автоматически, так что пользователь может полностью сосредоточиться на анализе технологии.

Установлено, что для оптимизации кинетики переходов макромоделли обогатительной технологии необходимо обеспечить оптимальную добавку воды в схему, а в модель каждого объекта включить модели авторегуляторов её подачи и распределения. Имитационными исследованиями кинетики такого моделирования установлена возможность и разработан алгоритм периодизации очереди процессов по факту обнуления флагов на всех объектах. В результате получена быстрая непрерывно действующая макромоделль обогатительной экологически чистой технологии с минимизацией сброса оборотной воды и невязкой материального баланса, не превышающей  $10^{-5}\%$ .

#### Список источников

1. Полулях А.Д., Фёдоров В.И., Шандер С.В. Оптимизация технологических схем углеобогатительных фабрик. Научно-технічний збірник "Збагачення корисних копалин", №5(46), с.15-18. Дніпропетровськ, 1999.
2. Arinenkov Y. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal preparation factories on the COMPUTER / 2nd Regional APCOM'97 Symposium on COMPUTER APPLICATIONS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRIES. Published by: The Moscow State Mining University Publishing Center. Moscow, Russia - 1997. 536p., p.209-214.
3. Ариненков Ю.Д. Метод форматирования массивов данных обогатимости полезных ископаемых. // "Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16. серія гірничо-електромеханічна. Донецьк: ДонДТУ, 2000. С.3-10.
4. Ариненков Ю.Д. Методы анализа и синтеза показателей обогатимости полезных ископаемых. / В кн. Применение ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. Труды 17-го Международного симпозиума APCOM'80. М., Недра, 1982. Т.2. 468с. С.364, 447-451.