

Цемент и прибыль

На пути к всеобъемлющей оптимизации предприятий горнодобывающей и цементной промышленности

Дарио Кастаньола, Михель Кинер, Эдуардо Галлестей

Растущая конкуренция и рост стоимости исходного сырья «съедают» прибыль во многих обрабатывающих отраслях промышленности. Чтобы выжить, эти отрасли нуждаются в оптимизации, но постоянное оптимизирование технологических процессов в этих отраслях порождает свои проблемы для оперативного персонала. Автоматизация управления технологическими процессами эти проблемы смягчает, а наличие современных алгоритмов и высокопроизводительных компьютеров позволяет быстро находить для этих проблем конкретные решения. Компания АББ разработала Expert Optimizer V5, компьютерную систему для управления производственными процессами, а также для оптимизации и стабилизации их параметров. Эта система оказалась исключительно эффективной и в настоящее время применяется более, чем на 300 предприятиях по всему земному шару для сопровождения производственных процессов.

В ответ на растущие потребности в оптимизации производственных процессов компания АББ, опираясь на последние достижения в области математических алгоритмов и высокопроизводительных компьютеров, создала всеобъемлющее техническое средство, в котором удалось объединить возможность решения задач оптимального планирования производства и классических задач по совершенствованию управления технологическими процессами. Чтобы это техническое средство имело успех на рынке и тем самым обеспечило компании АББ конкурентное преимущество, в него были заложены следующие характеристики:

Измерение и управление

- полная совместимость со всеми существующими методами оптимизации;
- достаточная гибкость для того, чтобы применяться в различных отраслях с самыми различными целями;
- простота – возможность использования даже неспециалистами;
- модульное построение, возможность многократного применения и расширения с целью ускорения процесса совершенствования технологии и организации производства.

Система Expert Optimizer v5 с набором инструментальных средств для гибридных систем

Expert Optimizer – это компьютерная система для управления производственными процессами, а также для оптимизации и стабилизации их параметров. Для достижения заданных целей используется самая современная технология управления, при которой наилучшие из возможных действий неустанно выполняются с неизменной точностью и последовательностью. На рынке это заметное явление, находящее применение более, чем на 300 предприятиях по всему миру.

Дальновидность компании АББ, стремившейся объединить в одной разработке функциональные возможности для удовлетворения широкого спектра потребностей бизнеса в решениях по оптимизации, и привела к разработке системы Expert Optimizer. Разработка осуществлялась подразделением «Minerals – Automation & IT Solutions» компании АББ в сотрудничестве с «Control & Optimization group» подразделения «ABB Swiss Corporate Research». В 2004 г. эти подразделения приступили к разработке нового модельно-ориентированного функционального средства, при этом учитывались состояние рынка и упомянутые выше технологические требования.

Математический аппарат

Модельно-ориентированная операционная среда новой системы Expert Optimizer, известная под названием Hybrid Systems Toolbox (HST, инструментальный набор для гибридных систем, см. рис. 1), использует систему смешанного логико-динамического моделирования (Mixed Logical Dynamical, MLD) [1]. Системы MLD были разработаны совсем недавно в лаборатории автоматического управления института Swiss Federal Institute of Technology (ETH) в Цюрихе, стратегическое сотрудничество с которым у компании АББ началось в 2000 г. В этих системах обобщён широкий набор моделей,

в том числе и для гибридных систем, причём в этих моделях взаимодействуют между собой и непрерывные, и дискретные процессы. Пример простой системы MLD в составе системы Expert optimizer показан на рис. 2.

Expert Optimizer – это компьютерная система для управления производственными процессами, а также для оптимизации и стабилизации их параметров.

Неплохим примером гибридной системы является электронный термостат, в котором температура как физическая величина моделируется как непрерывная переменная, а состояние переключателя подогрева – как дискретная переменная. Возможность моделировать гибридные системы существенно расширяет область применения системы Expert Optimizer, поскольку гибридные системы весьма распространены в обрабатывающей промышленности. Более того, в отличие от стандартных промышленных моделей системы MLD позволяют моделировать ограничения и связи, например, логические зависимости типа

«Если устройство 1 включено, то устройство 2 должно быть выключено» или производственные ограничения типа «продукция или совсем не выпускается, или объём её выпуска находится в пределах от минимального до максимального». И последнее, но не менее важное – с помощью систем MLD можно реализовывать кусочно-линейные математические модели, что является хорошим компромиссом между большой сложностью общих нелинейных моделей и простотой использования линейной теории.

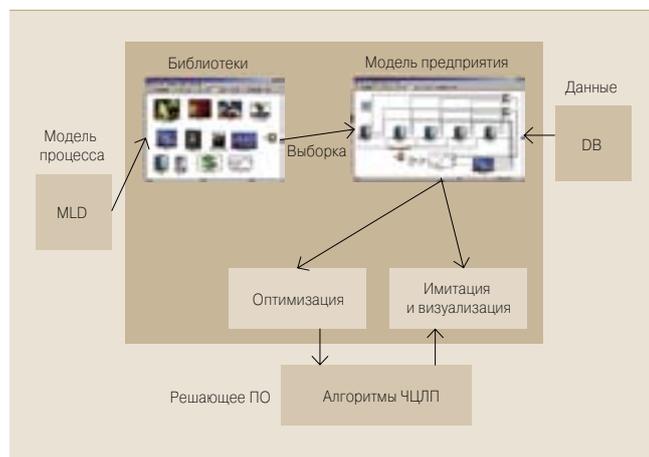
Среди преимуществ систем MLD – наличие стандартизованного метода управления на основе прогнозирующих моделей (Model Predictive Control, MPC), хорошо известного в технике оптимального управления. Сочетание систем MLD с методом MPC даёт возможность решать задачи крупномасштабной оптимизации, где на обозримую перспективу и при известных ограничениях минимизируется показатель «доходы-затраты», известный как «функция стоимости». В зависимости от предъявляемых требований одна и та же база может применяться в «разомкнутом» виде, как инструмент для планирования и принятия решений, или в «замкнутом» виде (с самокорректировкой планов) [3].

Гибкость моделирования, приемлемое время вычислений и оптимальное ограничение внешних воздействий – вот ключевые преимущества такого подхода.

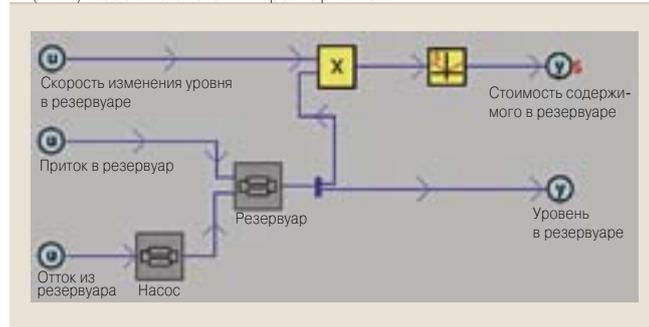
Общая концепция

Недостатком описанного подхода, как и других модельно-ориентированных технологий, является относительно высокая стоимость предварительной теоретической проработки, что делает моделирование и последующее обслуживание сложных промышленных систем достаточно трудным делом. При разработке новой системы Expert Optimizer главной движущей силой было стремление сделать методологию MLD-MPC доступной неспециалистам, а также добиться того, чтобы эта методология стала общепринятой для всех модельно-ориентированных оптимизационных проектов как для компании АББ, так и для её заказчиков. Представим себе, что некоторое производство можно концептуально разделить на части. Например, для гидроэлектростанции это водохранилище, плотина, гидротурбина, электрогенератор, электрическая сеть. Идея состоит в том, чтобы смоделировать каждую часть независимо от других

1 Инструментальный набор для гибридных систем.



2 Простая система смешанного логико-динамического моделирования (MLD) в составе системы Expert Optimizer.



частей в рамках системы MLD и представить её графически в виде блока. Этот блок включает в себе связи, ограничения и динамику модели, а его входы и выходы соответствуют входам и выходам модели в системе MLD. Полная модель процесса получается в этом случае графическим соединением входов и выходов различных блоков. Следующее новшество состоит в том, чтобы «функцию стоимости», определяющую параметры задачи оптимального управления, представить в виде второго графического блока в системе MLD. Например, для гидроэлектростанции целью оптимизации может быть получение наибольшей прибыли от продажи генерируемой электроэнергии. В этом случае выход блока, графически представляющего произведённую электроэнергию, следует просто соединить с входом блока, графически представляющего «функцию стоимости» и заключающего в себе меняющиеся со временем тарифы на электроэнергию. Следует заметить, что каждый блок, включающий в себя «функцию стоимости», сам является базовой системой MLD. В результате достигается очень высокая гибкость моделирования.

Модульный подход упрощает этап моделирования, облегчает разработку, совершенствование и обслуживание моделей.

Модульный подход упрощает этап моделирования, облегчает разработку, совершенствование и обслуживание моделей. Кроме того, можно создавать библиотеки стандартных блоков, пригодные к повторному использованию. Для этого достаточно просто извлечь их из библиотеки (рис. 3).

Как только пользователь создал модель предприятия, автоматически вступают в действие сложные процедуры слияния блоков модели в системе MLD, постановки и решения задачи оптимального управления. Происходит это как бы «за кулисами» и пользователь этого не видит. Ему приходится лишь иметь дело с соответствующими стандартными блоками из библиотеки (см. выше), а если таковых ещё нет, разрабатывать их.

Такие возможности позволяют создавать новые эффективные приложения быстрее, чем когда-либо ранее. То, на что требовались месяцы, с помощью системы Expert Optimizer v5, достигается за считанные недели.

Непрерывное внедрение новшеств

Специалисты из ABB Corporate Research Center в Швейцарии активно помогали в разработке новых функциональных возможностей приме-

нительно к усовершенствованным процессам управления и планирования на основе MLD-MPC. Участие ABB Corporate Research Center и фундаментальной науки – это гарантия того, что система Expert Optimizer идёт в ногу с самыми последними новшествами.

Новое в применении системы Expert Optimizer

Как только открылись новые возможности модельно-ориентированной оптимизации, было запущено несколько проектов на основе Expert Optimizer. Они успешно реализуются в различных областях, причём наиболее значительные – в управлении производственными процессами по «замкнутому контуру» (управление процессами смешивания исходного сырья, измельчением и декарбонизацией), в планировании производства и его диспетчеризации (оперативное управление процессом измельчения на цементном производстве [4], процессом производства двуокиси титана, процессом водоснабжения), в экономической оптимизации процессов (внедрение альтернативных топлив, оптимизация тепловых электростанций).

Смешивание исходного сырья в оптимальных пропорциях

В модуле смешивания исходного сырья системы Expert Optimizer используются новые возможности модельно-ориентированной технологии, помогающие производителям цемента улучшать качество смеси исходного сырья и тем самым экономить средства в последующих технологических операциях. При смешивании исходного сырья применяются несколько нетривиальных решений, существенно влияющих на последующие стадии производственного процесса. Исправление последствий отклонений в качестве исходного сырья на последующих стадиях процесса обходится дорого: потери продукции, перерасход электроэнергии – это только явные последствия.

В модуле смешивания исходного сырья применяются системы MPC и MLD, что позволяет прогнозировать ход технологического процесса и происходящих в ходе него химических реакций. Для достижения этого модель прогнозирует качество продукции после измельчения и (или) прохождения через силосы. По результатам оперативного и (или) лабораторного анализа модель сравнивает свой прогноз с целями, вытекающими из задачи оптимизации по критерию «цена-качество». На основании этого выбираются оптимальные шаги, которые надо предпринять немедленно и в будущем, и формируется готовое решение. Наконец, для более точного прогноза и принятия более оптимального решения в модель вводятся данные, характеризующие непредсказуемость процесса. На рис. 4 показано отображение на экране монитора работы этой модели Expert Optimizer.

Преимущества того, что решения в ходе управления производственным процессом принимаются с опережением, а не с отставанием, следующие:

- возможность оптимизации соотношения между уровнем качества и материальными затратами для его достижения;
- возможность своевременно смягчить влияние долго- и среднесрочных мешающих факторов;
- соответствие предварительным условиям для расширения применения альтернативных топлив;
- возможность скомпенсировать задержки конвейера;
- полный контроль динамики процесса;
- минимизация перемещений грузозачных устройств.

Модуль смешивания исходного сырья – это не «чёрный ящик», и пользователь может менять приоритеты и «вес» отдельных параметров, даже не обращаясь к разработчикам системы.

Каждый блок, включающий в себя «функцию стоимости», сам является базовой системой MLD. В результате достигается очень высокая гибкость моделирования.

Диспетчеризация работы установки помола цемента

Технологический процесс производства цемента завершается помолом цемента и распределением различных марок цемента по отдельным силосным складам. На этом этапе процесс существенно зависит от тщательности его диспетчеризации. В данном случае система Expert Optimizer на основе информации о заказах и прогнозах цен на энергоресурсы может помочь путём расчёта последовательных приближений при управлении по методу MPC, а выход этой системы используется как эталон для диспетчеризации технологического процесса (рис. 5). Здесь «функция стоимости» выражает затраты, связанные с потреблением электроэнергии и наличием некоторого количества низкосортного цемента (он получается при переходе с выпуска цемента одной марки

3 Библиотека элементарных составляющих системы MLD для построения любой модели



Измерение и управление

на выпуск другой). Снижение затрат на электроэнергию достигается переходом на выпуск продукции в часы, когда действуют пониженные тарифы, а также управлением производственным процессом таким образом, что оговоренные в контракте на поставку электроэнергии предельные уровни потребляемой мощности не превышаются. Производство же низкосортного цемента сводится к минимуму уменьшением числа переходов с выпуска цемента одной марки на выпуск другой.

Следует заметить, что в данном случае проблема управления связана в большей степени с оптимизацией процесса в экономике, нежели с управлением в смысле регулирования: речь идёт об использовании возможных «степеней свободы» для улучшения финансовых показателей работы предприятия.

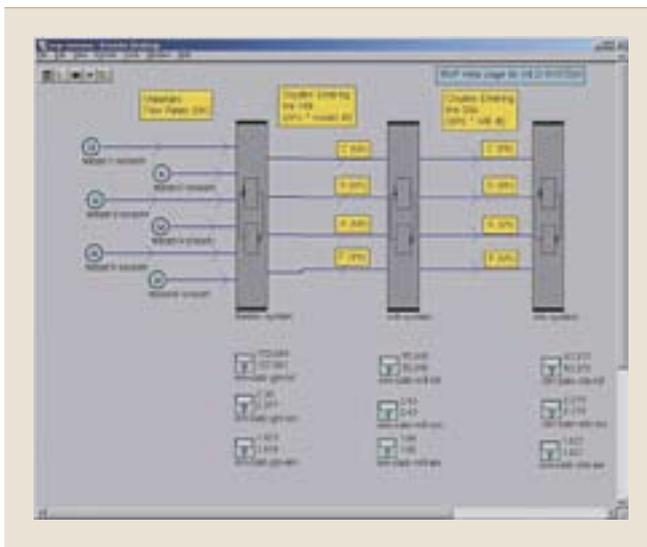
Производство низкосортного цемента сводится к минимуму уменьшением числа переходов с выпуска цемента одной марки на выпуск другой.

Заключение

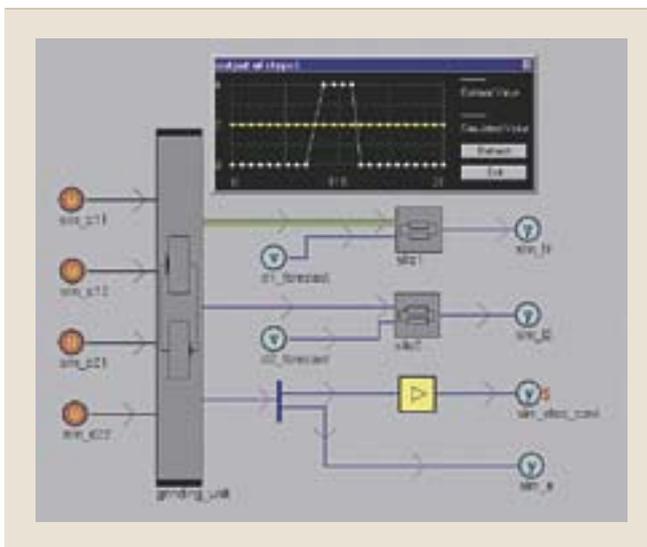
Результаты описанных выше исследований и разработок оказались отличными: двадцатилетний опыт применения в обрабатывающей промышленности таких технологий управления, как управление с нечёткой логикой, управление на основе правил и управление «Neuro-Fuzzy», теперь соединены с самой современной техникой оптимизации, основанной на использовании модели. Отныне один и тот же программный продукт можно реально применять в сложных системах управления производственными процессами как с замкнутым, так и с разомкнутым контуром (в последнем случае система лишь «подсказывает» решение),

а также при усовершенствованном планировании и диспетчеризации производственного процесса. Любые возможности по моделированию, оптимизации и имитации теперь доступны в рамках графического интерфейса системы Expert Optimizer. Вся сложность этого для пользователя остаётся «за кадром» и на его долю остаётся лишь моделирование самого производственного процесса. Гибкость такого моделирования обеспечивается модульной структурой и наличием библиотек многократно используемых компонентов моделирования.

4 Стратегия смешивания исходного сырья в оптимальных пропорциях.



5 Диспетчеризация работы установки для помола цемента.



Выбор того или иного инструмента для отыскания решения зависит от глубины знания и понимания производственного процесса на основе доступной пользователю информации. Располагая обширным опытом своих технологов, компания АББ может получить право разрабатывать стратегию моделирования и управления, необходимую для оптимизации динамических процессов, хотя конечные пользователи могут воспользоваться и своими знаниями о процессе. Лёгкость использования системы Expert Optimizer v5, в сочетании с всесторонним обучением и другой поддержкой компании АББ, может помочь конечным пользователям в более быстрой разработке и совершенствовании своих приложений.

Разработанная методология даёт возможность распоряжаться ресурсами экономически эффективно и не нанося ущерба окружающей среде. Имея такой инструмент, компания АББ подняла работу специалистов по системам управления на новый уровень – теперь им необходимо соединить стратегию оптимального управления с эконометрическими моделями производственных ресурсов.

Изложенные в настоящей статье результаты получены в ходе длительного и плодотворного сотрудничества между ABB Minerals и ABB Corporate Research по программе «Control & Optimization» (Управление и оптимизация). Это сотрудничество – пример того, какие выгоды можно извлечь из соединения науки с производством.

Дарио Кастаньола

Михель Кинер

Эдуардо Галлестей

ABB Corporate Research,
Баден-Деттвиль, Швейцария
dario.castagnola@ch.abb.com
michelle.kiener@ch.abb.com
eduardo.gallestei@ch.abb.com

Литература

- 1 Bemporad, A. and Morari, M. (1999) Control of Systems Integrating Logic, Dynamics, and Constraints, Automatica 35, no. 3, 407–427.
- 2 Андреа Понсе, Манфред Морари. Цена/качество, АББ Ревю 2/2005
- 3 Gallestei, E., Stothert, D., Castagnoli, D., Ferrari-Trecate, G. and Morari, M. (2002) Using model predictive control and hybrid systems for optimal scheduling of industrial processes, Automatisierungstechnik 6, 285–293.
- 4 Castagnoli, D. Gallestei, E. and Frei, C. (2003) Cement mills optimal (re) scheduling via MPC and MLD systems, Proceedings of conference on the Analysis and Design of Hybrid Systems (ADHS 03), 82–87.