

УДК 004.896:669

ПОЛНОСТЬЮ ОЦИФРОВАННОЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СЛЕЖЕНИЕ, АНАЛИТИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ

¹Беренов Д.А., ²Белан С.Б., ³Аксенов К.А., ²Перескоков С.А.

¹ООО «ДАТА-ЦЕНТР Автоматика», Екатеринбург, e-mail: belan@i-teco.ru;

²ЗАО «Ай-Тек», Москва;

³ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: wiper99@mail.ru

В статье решена задача оцифровки металлургического производства на основе применения современных информационных технологий, методов управления и контроля. Для решения задачи полной оцифровки металлургического предприятия в работе предлагается использовать методы тотального контроля за обработкой единиц продукции при обработке на агрегатах, методы визуального контроля перемещения единиц продукции между агрегатами и местами складирования единиц продукции, в совокупности с современными подходами моделирования и анализа данных. В части методов анализа данных предложено использовать технологию больших данных. Представлены результаты разработки следующих систем, направленных на решение задачи оцифровки и полного контроля металлургического производства: 1) DATA-TRACK – система слежения за перемещением материала; 2) EXPERT BASE – система производственной аналитики; 3) автоматизированная система выпуска металлургической продукции (АС ВМП).

Ключевые слова: оцифрованное металлургическое производство, слежение, автоматизированная информационная система, управление, моделирование

DIGITALLY OF METALLURGICAL PRODUCTION: MONITORING, ANALYTIC, MODELING

¹Berenov D.A., ²Belan S.B., ³Aksenov K.A., ²Pereskokov S.A.

¹Data-Centr Automatica, Ekaterinburg, e-mail: berenov@dc.ru;

²I-Teco, Moscow;

³Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: wiper99@mail.ru

In this work digitally task of metallurgical production was solved based on modern information technology, control and management methods. To solve digitally task of metallurgical production in this work are used total control and monitoring method of resources conversion on mechanisms and processes, visual control method and technical vision method are used for monitoring and control of production and resources motion on shops and warehouses. For data analysis are used multi agent simulation, modeling and BIG DATA technology. In this work was presented the result of developed of some automation and control systems that solve the task of total digitally of metallurgical production: 1) DATA-TRACK – monitoring system of movement of resources and materials; 2) EXPERT BASE – production analytic systems; 3) enterprise metallurgical automation system (eMAS).

Keywords: digitally of metallurgical production, monitoring, automated information system, control, simulation

В настоящее время повышенное внимание уделяется управлению производством. Большинство производителей видят решение своих проблем во внедрении MES и ERP-систем, конкурентное преимущество получают фирмы, которые кроме решения задачи «как управлять?» решают задачу «что изменить?». Так, одно из металлургических предприятий [1] получило экономический эффект более 180 млн руб. в год, изменив в конвертерном производстве методику назначения слябов в заказы и на дальнейшую обработку. Эффект достигнут за счет оцифровки металлургического производства, реализации слежения за материалом и аналитической проработки исторических данных о производстве и заказах.

Представим работу аналитика, который на основе этих данных должен выдать рекомендации об изменении производства. Он вынужден будет получить отчеты с множества разнородных систем о выпуске продукции. Один человек не может работать со всеми системами АСУ ТП всех агрегатах, на всех переделах, во всех MES-системах и одновременно в ERP. Так наш аналитик обрывает коллективом, который занимается для него сбором данных. Но, даже получив все отчеты, нужно сопоставить данные между собой. Показания контрольно-измерительных приборов нужно привязать к единицам продукции (ЕП), ЕП привязать к заказам и связать между собой через генеалогию (например, плавка, сляб, рулон или лист), а если понадобятся до-

полнительные данные? Все начинать сначала, сколько времени займет сбор полного объема данных? Сопоставление между собой отчетов разнородных систем может привести к невозможности решения за отведенное время.

Построить систему полностью оцифрованного производства означает дать возможность использования максимального количества информации для принятия решений в реальном или ограниченном времени. Чем больше данных – тем надежнее вывод! Решение данной задачи должно быть комплексным:

- 1) нет смысла покупать аналитическую систему, если нет сбора данных;
- 2) если сбор данных есть, данные необходимо привязать к ЕП;
- 3) для привязки данных к ЕП необходимо осуществлять слежение за материалом и для каждой ЕП иметь генеалогию производства.

В комплексе задачу полностью оцифрованного производства решают продукты, разработанные в АО «Ай-Теко» в кооперации с ООО «ДАТА-ЦЕНТР Автоматика» и Уральским федеральным университетом:

- 1) DATA-TRACK – система слежения за перемещением материала (ССМ) [2];
- 2) EXPERT BASE – система производственной аналитики превращает анализ и совершенствование производства в непрерывный бизнес-процесс (БП) на предприятии [3];
- 3) автоматизированная система выпуска металлургической продукции [4–9] анализирует данные, использует разработанные модели для оптимизации и управления производством в реальном времени.

Слежение за материалом. Система DATA-TRACK

DATA-TRACK предназначен для автоматического тотального контроля перемещения материала на производстве:

- 1) кранами и передаточными тележками на складах;
- 2) перемещение между агрегатами на производстве: на рольгангах, кранами и передаточными тележками;
- 3) перемещение материала по агрегату;
- 4) сбор данных с датчиков агрегата о преобразовании материала;
- 5) автоматический учет продукции на входе и выходе агрегата.

Данный продукт направлен на решение следующих задач бизнеса:

- 1) автоматический, с исключением человеческого фактора, контроль движения материала;

- 2) исключение случаев, когда на последующем переделе заготовки, сфабрикованные под один заказ, попадают в другой заказ и потребителю отгружается не надлежащая продукция;

- 3) сбор и накопление данных о фактических параметрах производства на каждом переделе для принятия решения об оптимизации производства;

- 4) расчет показателей качества и контроль в реальном времени: сравнение фактического значения параметров с допусками из операционных и технологических карт;

- 5) контроль наработки на каждый технологический узел в тоннах, метрах, секундах, штуках;

- 6) контроль потребления энергоресурсов (вода, газ, электроэнергия и т.д.) с привязкой ко времени или к ЕП (расход на единицу, расход на партию, расход на тонну и т.д.);

- 7) точная фактическая генеалогия производства каждой ЕП, отслеживание связей родитель – потомок для каждой ЕП;

- 8) улучшение пропускной способности складов и использования складского пространства не менее чем на 20%.

Для слежения за перемещением материала по складу на кранах устанавливаются видеокамеры и/или лазерные сканирующие устройства, фиксирующие факт взятия/постановки груза на место хранения или на транспорт (ж/д платформа, автомобильный транспорт, передаточные тележки или рольганги).

Для слежения за перемещением материала на рольгангах, передаточных тележках и шлепперах видеокамеры и/или устройства лазерного сканирования располагаются так, что перекрывают пространство перемещения ЕП. С помощью системы на транспортных механизмах выделяются объекты (ЕП) и производится контроль их перемещения. При движении материала по холодильникам ЕП могут двигаться параллельно, и партии продукции, зашедшие на холодильники первыми, не обязательно первыми выходят. На выходе с холодильников партии продукции могут появиться в произвольном порядке [3]. ССМ на агрегате работает на основании данных, поступающих в систему от всех датчиков, расположенных на агрегате и смежных систем АСУ ТП. ССМ состоит из линий слежения. Линия слежения – участок агрегата, на котором ЕП последовательно проходит технологические узлы, рольганги и датчики движения (рис. 1). С 2008 г. 25 внедрений продукта DATA-TRACK на предприятиях черной металлургии в России и Казахстане.

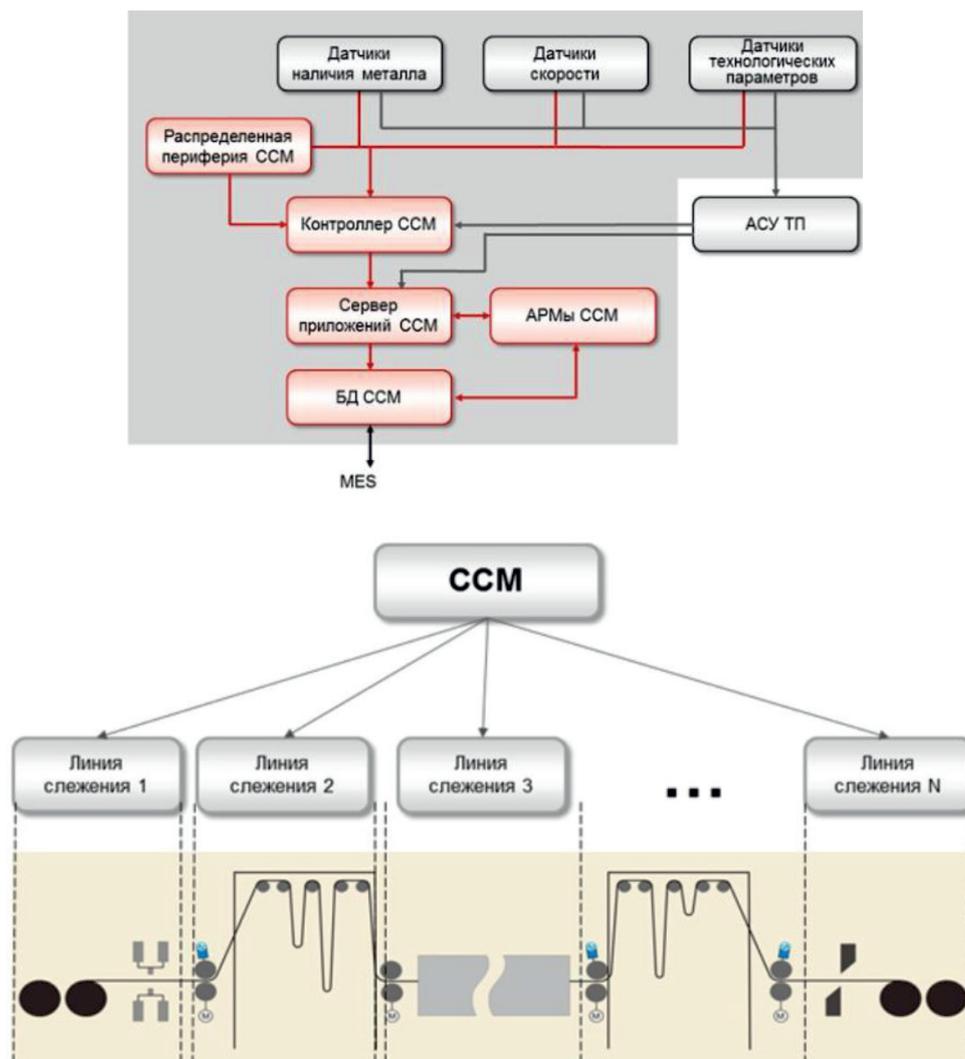


Рис. 1. Схема устанавливаемого и подключаемого оборудования в CCM и линии слежения

Аналитическая система EXPERT BASE

Система EXPERT BASE предназначена для принятия управленческих решений по изменению процесса производства на основе большого и пополняемого в реальном времени набора исторических данных о производстве. Изменения могут касаться, например, правил отбраковки заготовок на переделах, технологических и маршрутных карт, логистики перемещения материала, принятых БП предприятия. Система позволяет руководству компании и начальникам подразделений, технологическому персоналу анализировать процесс, оценивать его состояние по ключевым показателям, оценивать факторы, влияющие на качество продукции, и степень выполнения заказов. Система направлена на решение следующих задач бизнеса:

1) организация эффективного производства;

2) постоянный анализ и контроль эффективности БП организации, что позволяет лучшим образом перестраивать управленческие и производственные процессы;

3) совершенствование и оптимизация производства становится постоянно действующим БП на предприятии.

Архитектура системы предполагает возможность подключения любых источников данных предприятия, независимо от того, являются входные данные структурированными или нет. Данные в системе – это постоянно достраиваемый (динамический) граф производства. Для этого графа условно постоянной частью являются узлы, представляющие цеха и агрегаты (иерархия предприятия), и ребра возможных маршрутов движения ЕП. Всякая ЕП на каждом этапе производства в системе EXPERT BASE имеет генеалогию и полный

набор параметров, описывающих единицу продукции на каждом переделе.

Система EXPERT BASE предусматривает:

- 1) единый интерфейс для доступа ко всем источникам данных;
- 2) использование привычных бизнес-терминов при построении аналитического запроса;
- 3) возможность самостоятельного построения (без программиста) нестандартных аналитических запросов;
- 4) оригинальные аналитические и статистические графовые алгоритмы построения комитетов несовместной системы линейных неравенств, позволяющие в конечном итоге получить наглядные деревья решений;
- 5) стандартные корреляционные и регрессионные алгоритмы.

Система EXPERT BASE внедрена в период 2008 по 2010 г. на ПАО «Северсталь» в ходе проекта АС СКП «Технология». Данный проект предусматривал развертывание DATA-TRACK для основных переделов, а также монтаж новых датчиков на оборудование. В ходе работ осуществлена интеграция данных АСУ ТП и MES-систем в единое информационное пространство, осуществлен сбор данных более чем от 7000 источников.

С помощью системы EXPERT BASE была получена экономически обоснованная методика назначения слябов конвертерного цеха штрипсовых сталей в заказы. Экономический эффект в год превысил затраты на всю систему АС СКП «Технология» [1].

Автоматизированная система выпуска металлургической продукции

Система АС ВМП предназначена для анализа производства с помощью моделей и принятия управленческих решений в реальном времени. Данная система ориентирована для применения в реальном времени с использованием инструментов и технологий BIG DATA.

Практически система позволяет создать для всех производственных процессов путем машинного обучения «цифрового двойника». АС ВМП предоставляет возможность построения имитационных моделей процессов преобразования ресурсов [5–7] и коллективного поведения объектов (агентов в терминах искусственного интеллекта) в условиях заданной системы потребностей и интересов. Данная возможность предоставляет широкий спектр для задач оптимизации, принятия решений, оперативного планирования и диспетчеризации не только технологических, но логистических и бизнес-процессов. В основе модели процесса преобразования ресурсов лежат схемы мас-

сового обслуживания, автоматы, сети Петри и агентный подход.

Хранение и сбор данных АС ВМП построены на решениях в области Big Data и промышленной автоматизации. Совместно с Уральским федеральным университетом разработаны модули создания моделей процессов (СМП) и оптимизации процессов предприятия (ОПП) на основе имитационного моделирования и генетических алгоритмов.

При согласовании входных и выходных параметров моделей процессов, создаваемых с помощью модулей СМП/ОПП, с параметрами реальных технологических процессов и параметров, формируемых в результате работы других модулей АС ВМП, модуль СМП подписывается на получение параметра с определенным идентификатором (UUID). При согласовании через ОДАСП данный параметр представляет собой реальный параметр технологического процесса, получаемый модулем обмена данными с автоматизированными системами предприятия (ОДАСП) из внешних информационных систем или АСУ ТП и транслируемый ОДАСП всем подписчикам, в том числе модулю СМП и в хранилище данных (ХД). При согласовании через модуль интеграции моделей (ИМ) данный параметр представляет собой расчетный параметр процесса, получаемый модулем ОДАСП из модуля ИМ и транслируемый ОДАСП всем подписчикам, в том числе модулю СМП. При согласовании через конструктор запросов (КЗ) модуль СМП хранит идентификатор (UUID) запроса модуля КЗ (сам запрос хранится в ХД). При запуске имитации модели процессов нужный запрос КЗ выполняется в модуле КЗ и данные, сформированные в результате выполнения запроса, поступают на вход модели. Это обеспечивает актуальность поступающих данных на момент начала имитации модели процессов.

Алгоритм работы модуля ОПП реализуется следующей последовательностью действий:

1. Пользователь заходит в веб-интерфейс модуля ОПП путем выбора меню АРМ Персонала «Модели / Конструктор».
2. Модуль СМП проверяет, есть ли у пользователя права на выполнение модели.
3. На странице конструктора моделей пользователю необходимо выбрать предметную область и открыть модель.
4. Пользователь должен создать план экспериментов, выделив имя модели в дереве элементов, вызвав правой кнопкой мыши контекстное меню и выбрав пункт меню «Планы».

Создание плана эволюционного моделирования

Наименование: Число хромосом:

Количество тактов: Число популяций:

Вероятность применения оператора мутации
от: до:

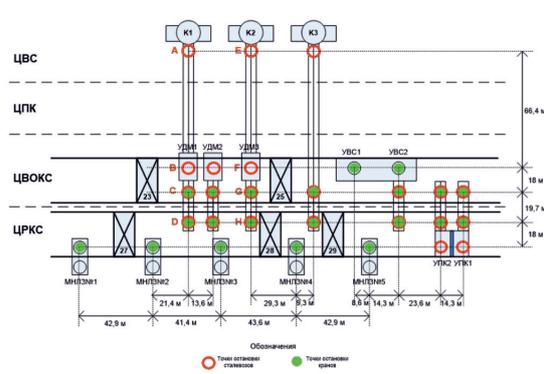
Вероятность применения оператора инверсии
от: до:

Выходной параметр
Наименование параметра: Оптимальное значение:

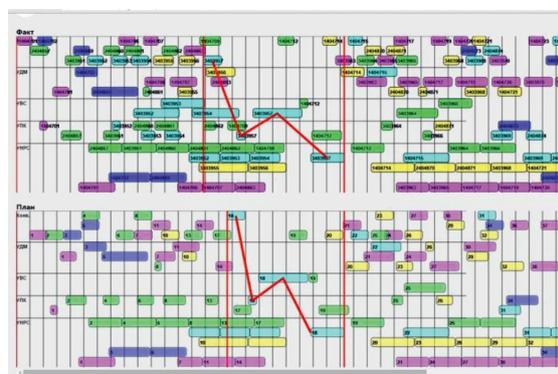
Входные параметры

Наименование параметра	Минимальное значение	Максимальное значение	Оптимальное значение
ГП.ГОО.ИНЖ	3	4	-
ГП.ГОТС.АДМ	1	4	-
ХП.ГОТС.АДМ	1	4	-
ГП.ГОТС.ВЕДИНЖ	1	2	-
ХП.ГОТС.ВЕДИНЖ	1	2	-

Рис. 2. Вид созданного плана эволюционного моделирования в АС ВМП



а) схема движения на производстве



б) два варианта расписания

Рис. 3. Фрагмент окон системы

5. Проведение экспериментов с моделью: Прописать условия имитации модели. Определить условие остановки работы модели. Проконтролировать окончания выполнения плана или эксперимента. При визуализации работы моделей используется 3D анимация.

6. Передача результатов выполнения модели и формирование отчетов.

Применение эволюционно-имитационного алгоритма оптимизации процессов

позволяет использовать естественные законы развития сложных систем для решения оптимизационных задач с помощью генерации и оценки альтернативных вариантов функционирования систем. Рассмотрим этапы реализации алгоритма в модуле ОПП.

Этап 1. Выбор способа кодирования оцениваемого альтернативного решения задачи в строку символов, кодирующую некоторое решение оптимизационной задачи.

Этап 2. Разработка (настройка и выбор) генетических операторов для задачи.

Этап 3. Определение законов выживания решения.

Этап 4. Выбор способа генерации начальной популяции и способа останова работы алгоритма (рис. 2). Генерация начальной популяции реализована случайным образом. Способ останова алгоритма выбран по достижению заданного пользователем числа популяций.

Этап 5. Эволюционно-имитационное моделирование.

Этап 6. Передача результатов выполнения модели.

Модули АС ВМП были испытаны в кислородно-конвертерном цехе на ПАО «Северсталь». Решалась задача оптимизации перемещения плавок по конвертерному производству с помощью кранов и сталевозов (рис. 3, на рисунке б), один из завершённых производственных циклов помечен красной линией: при оптимизированном расписании (нижний правый график) длительность цикла на 20% меньше).

Заключение

Цель предлагаемых автоматизированных систем – дать пользователю возможность достоверного анализа производственной информации. Сегодня конкурентное преимущество получают те фирмы, которые в приемлемые для практики сроки могут в процессе своей деятельности анализировать миллионы событий, описываемых тысячами и десятками тысяч переменных. История применения подходов BIG DATA на металлургических предприятиях только начинается.

Список литературы

1. Автоматизированная система выпуска металлургической продукции (АС ВМП). – URL: http://www.i-teco.ru/solutions/control_systems_and_automation/asvmp/ (дата обращения: 23.04.2017).
2. Кабаков П.З., Кабаков З.К., Мишнев П.А., Никонов С.В., Иткин А.А. Разработка методики назначения слябов конвертерного цеха штриповых сталей в заказы на основе статистических методов // Журнал «СТАЛЬ». – М., 2015. – № 1. – С. 88–92.
3. Система слежения за металлом. – URL: <http://www.dc.ru/activities/ssm/> (дата обращения: 23.04.2017).
4. Система EXPERT BASE помогает принимать управленческие решения об изменении производства. – URL: http://www.dc.ru/activities/asu_tp/big_data (дата обращения: 23.04.2017).
5. Aksenov K., Antonova A. The use of simulation in the management of converter production logistics processes. *Advances in Intelligent Systems and Computing. International Symposium on Intelligent Systems Technologies and Applications, ISTA 2016; Jaipur, India; 2016.* – Vol. 530. – P. 675–682.
6. Aksenov K., Bykov E., Aksenova O. Agent-directed resource conversion process model design principles. *Agent-Directed Simulation Symposium, ADS 2016, Part of the 2016 Spring Simulation Multi-Conference, SpringSim 2016; Pasadena; United States. Simulation Series.* – 2016. – Vol. 48, Issue 1. – P. 84–89.
7. Aksenov K., Bykov E., Aksenova O., Goncharova N. and Nevolina A. Extension of the multi-agent resource conversion processes model: Implementation of agent coalitions. *5th International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2016; Jaipur, India; 2016.* – P. 593–597.
8. Borodin A., Kiselev Y., Mirvoda S., Porshnev S. On design of domain-specific query language for the metallurgical industry // *Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26–29 May 2015, Ustron, Vol. 521.* – P. 505–515.
9. Borodin A., Mirvoda S., Porshnev S. Database Index Debug Techniques: A Case Study // *International Conference: Beyond Databases, Architectures and Structures.* – Springer International Publishing, 2016. – P. 648–658.