

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ

ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

С.А. Власов (ОНИТ РАН), В.В. Девятков (ООО "Элина-Компьютер"),
Д.И. Усанов (КГТУ им. А.Н.Туполева)

Показано, что для обеспечения требуемых количественных и качественных показателей производства на примере металлургической отрасли целесообразно использовать имитационное моделирование, описывающее временные и экономические связи в технологической системе с учетом вероятностного распределения времени выполнения работы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, производственные мощности, металлургия, системы массового обслуживания, индексы производительности.

Новые условия хозяйственной деятельности требуют современных подходов к решению задач структурной организации и оценке ресурсных резервов по производительности оборудования, качеству продукции, затратам металлургических предприятий. При этом в качестве ресурсов и их резервов рассматриваются как технико-технологические, так и организационно-временные параметры производства. Важнейшей интегральной характеристикой внутреннего ресурсного потенциала является производственная мощность (ПМ) [1, 2].

Под ПМ будем понимать совокупность характеристик статических, фиксированных объектов (агрегатов, участков, цехов и производства в целом) и динамических – технологических маршрутов. Оценка и формирование ПМ предприятия рассматривается не как разовое мероприятие, имеющее место при его создании или реорганизации, а как непрерывный инновационный бизнес-процесс, в том числе и решаемый системами управления интегрированного характера (класса ERP и MES).

Зависимость значения фактической производственной мощности от действия вышеприведенных факторов имеет вероятностную природу и по величине различна для каждого агрегата и каждого металлургического производства, а усредненную характеристику этой зависимости можно получить в виде математического ожидания потери производительности из-за простоев оборудования, связанных с отказами:

$$f_j^{омк} = 1 - \frac{T_{jL}^{nl}}{\sum_{l=1}^{L-1} T_{jl}^{nl}} \left(\sum_{l=1}^{L-1} \sum_{i=1}^{n_l^{омк}} \tau_{ijl}^{омк} \right),$$

где T_L^{nl} , T_l^{nl} – соответственно длительности текущего и предшествующих периодов планирования, принятых для расчета математического ожидания; $\tau_{ijl}^{омк}$, $n_l^{омк}$ – соответственно длительность простоя и число отказов оборудования в l -ом плановом периоде. Имитационное моделирование в данном случае является средством оценки характеристик $\tau_{ijl}^{омк}$, $n_l^{омк}$.

Металлургическое производство многостадийное. Продукция предшествующей стадии является исходным сырьем для последующей вплоть до последнего передела: руда – концентрат – агломерат – чугуны – сталь – прокат – продукция пятого передела. Характеристики поступающих в переработку исходных мате-

риалов на каждой стадии и на каждом агрегате определяют не только качество продукции, но и производительность данного агрегата. Эти зависимости имеют экспоненциально возрастающий характер и предел насыщения, связанный с процедурными и продуктивными ограничениями производственной мощности:

$$f_{ij}^e = 1 - \alpha_{\mu}^E \cdot \exp(-\beta_{\mu}^E \cdot E_{ij}),$$

где E_{ij} – качественная характеристика μ -го материального ресурса; α_{μ}^E , β_{μ}^E – параметры, определяемые экспериментальным и экспертным путем (с использованием имитационных моделей).

Плановый объем V_j^{nl} продукции в планируемом периоде t определяется как сумма заказов на производство всех видов продукции $V_i(i-1, \dots, n)$ для i -го агрегата:

$$V_j^{nl} = \sum_{i=1}^{n_{ij}} V_{ij}.$$

Повышение эффективности использования ПМ связано с минимизацией издержек, потерь при невыполнении планового задания вследствие действия случайных факторов, обусловленных спецификой производства, и эксплуатационных затрат при поддержании работы оборудования на режимах, близких к максимальным значениям ПМ.

При приближении плановых заданий к максимально возможным значениям ПМ увеличиваются потери, связанные с вероятностью невыполнения плана, и эксплуатационные потери, направленные на поддержание предельных значений ПМ. Как показывают исследования, проведенные на ряде производств, эти зависимости носят экспоненциально возрастающий характер и могут быть получены на основе имитационного моделирования [3].

На качество продукции затраты металлургического производства и производительность участков и комплексов оказывает влияние не только соотношение планового объема и ПМ, но и размер обрабатываемых партий продукции (число плавов одной марки при выплавке в сталеплавильных агрегатах, типоразмеров слябов и заготовок при разливе на МНЛЗ, одного сортамента проката на прокатном стане). Эти затраты связаны с действием трех факторов: переналадкой оборудования, снижением эффективности управления при адаптации к новому производственному заданию, нарушением ритмичности производства [2, 3].

Практика показывает, что для обеспечения требуемого уровня ритмичности, а следовательно, и качества продукции необходим дополнительный временной ресурс, величина которого зависит от разброса времени выполнения работы. Размер этого ресурса устанавливается на основе имитационной модели, описывающей временные и экономические связи в технологической системе с учетом вероятностного распределения времени выполнения работы. В качестве критерия обеспечения партии обрабатываемой продукции (с учетом ее размера) ресурсами целесообразно использовать экономическую меру риска, которая должна учитывать как потери от недостаточного использования временных ресурсов работы агрегата, так и от недостатка самих временных ресурсов.

Проведенные на различных металлургических производствах исследования зависимости потерь от размера партии с использованием имитационных моделей показали, что существует размер партии для данного технологического маршрута, при котором потери минимальны.

Для унификации модели и представления производственных процессов в виде системы массового обслуживания (СМО) с последующим применением подходов [4-7] к разработке имитационных приложений для одного из конкретных производственных объектов металлургического производства (завод ферросплавов) систему можно разбить на следующие типовые обобщенные элементы (модули): поступление сырья на предприятие; сортировка и предварительная подготовка шихты; транспортировка и подача шихты; дозирочное отделение; выплавка ферросплавов в печи; разлив и транспортировка готовой продукции; дробление и складирование продукции; отгрузка продукции потребителям.

Каждый из этих модулей в соответствии с функциональным и организационным делением предприятия может быть использован в модели неоднократно, с учетом индивидуальных особенностей и настроек. В используемой авторами технологии построения моделей каждый модуль будет отдельным шаблоном. А для каждого конкретного эксперимента исходный текст модели будет собираться из определенного пользователем числа и порядка шаблонов.

Основными объектами и процессами в модели будут: потоки сырья (с повышающимся уровнем передела от операции к операции), технологическое оборудование, технический персонал, управляющие и возмущающие воздействия на систему, потоки готовой продукции.

Все поступающее на предприятие сырье представим как динамические объекты, передвигающиеся последовательно по всем стадиям производственных процессов. В модели будут выделяться группы динамических объектов по типам сырья (хромовая руда, марганцевый концентрат, кокс и др.). Постепенно при переходе от одной стадии производства к последующей данные объекты будут видоизменяться по уровню

передела. На каких-то стадиях происходит слияние потоков (смешивание и подготовка шихты), на каких-то – преобразование их свойств (превращение потока шихты в поток сплава). Введем в модель для каждой производственной стадии определенную минимальную "порционность" сырья (вагон, контейнер и др.) – модельную единицу измерения объема сырья.

В терминах GPSS World порции сырья должны быть представлены в виде динамических объектов – транзактов. В результате над сырьем как над транзактами в модели могут быть осуществлены самые разнообразные действия. Транзакты (сырье) будут поступать на предприятие (например, железнодорожным транспортом). Над ними в соответствии с технологией производятся различные действия (погрузка, выгрузка, задержка, транспортировка по территории предприятия). Транзакты могут объединяться (смешивание в дозирочных отделениях), разъединяться (выход нескольких видов продукции после плавки, например, ферросплав и кокс) и уничтожаться (отгружаться потребителю).

Каждый транзакт характеризуется рядом параметров (свойств, характеристик), которые всегда доступны исследователю. Эти параметры индивидуальны для каждого вида сырья (полуфабриката) и присущи транзактам на протяжении их жизненного цикла. К основным параметрам транзактов можно отнести: вид и количество сырья; текущие стадия и цех (участок) обработки; характеристика состава сырья (полуфабриката); используемый тип и наименование оборудования при текущей обработке и т.д.

В основу алгоритмов и логики формирования и продвижения сырья (полуфабрикатов) должны быть взяты реальные производственные процессы, административное деление предприятия, количественный состав используемого оборудования и состав технического персонала.

Производство продукции на любом предприятии – это переработка поступающего сырья на специальном оборудовании техническим персоналом по определенной технологии. С точки зрения терминологии СМО, и оборудование, и персонал это – одноканальные или многоканальные обслуживающие аппараты. В одноканальном аппарате в данный конкретный момент может обслуживаться только одна порция сырья (полуфабриката) одновременно, а в многоканальном – обслуживается параллельно сразу несколько порций. В GPSS World – это такие объекты, как "устройства" и "памяти". В соответствии с заданными характеристиками оборудования, квалификацией персонала и т.д. будет определяться модельное время обслуживания транзакта этим видом оборудования. В алгоритме, вычисляющем данное время, должен быть предусмотрен учет многих управляющих и возмущающих факторов, таких как установленный режим работы, накопленная статистика работы оборудования, сбой в оборудовании и т.д. Кроме этого, в алгоритм должна быть внесена вероятность случайных флуктуаций, например, в составе шихты.

Все действия технического персонала предприятия в модели могут быть представлены одноканальными аппаратами. Подробные алгоритмы определения и управления загрузкой оборудования и персонала, вычисления временных задержек должны быть сформулированы на последующих стадиях проектирования и согласованы с заказчиком.

Такой способ позволяет формировать очереди на обслуживание и при завершении процесса моделирования автоматически накапливать статистику загрузки обслуживающих аппаратов, характеристики очередей к ним и т.д.

Кроме оборудования и персонала для организации процессов обслуживания необходимо технологически правильно задать последовательность обработки, организационные алгоритмы реализации обработки, регламент работы предприятия (сменность, выходные, рабочие часы и т.д.). Все это достаточно легко задается в модели логическими средствами GPSS World и встроенного языка PLUS [5,6]. В случае необходимости нужно реализовать наиболее сложные алгоритмы на языках высокого уровня и вызывать их как PLUS процедуры [8, 9].

Последовательность действий в моделях на GPSS World задается порядком прохождения транзактами блоков. Данный порядок в имитационном приложении для стационарной части будет жестко "прошит" последовательностью блоков модели, а для варьируемой части ТП будет задаваться в интерфейсе ввода данных посредством графического представления ТП.

Управление порядком процессов обработки в случае формирования очередей на обработку будет осуществляться посредством реализации различных списков пользователя и использованием алгоритмов обслуживания FIFO, LIFO и др. Все технологические и организационные аспекты обработки в модели должны соответствовать ТП, стандартам и другим нормативным документам.

Основой для проведения любого исследования является выработка показателей и характеристик функционирования системы. Назовем их индексами производительности и разделим на две группы: первичные (элементарные) и производные индексы. Самыми общими и очевидными, с точки зрения системного анализа, являются первичные индексы, к которым могут относиться, например, следующие показатели: коэффициенты загрузки ресурсов, длина очереди к ресурсам, среднее время пребывания в очереди, число прошедших транзактов и время прохождения транзактами отдельных частей или всей модели в целом. Отметим, что из-за разницы в терминологии и традициях для каждой предметной области первичные индексы будут разными.

Для производства ферросплавов примерами первичных индексов являются:

- коэффициенты загрузки оборудования, участков и цехов в целом. Под загрузкой оборудования понимается использование оборудования под выпуск продукции в частях от 1 ед. Диапазон возможных зна-

чений этих коэффициентов 0...1 ед. Чем выше загрузка, тем больше значение данного коэффициента;

- среднее время задержки на каждом этапе обработки (при работе персонала, функционировании оборудования). Можно их получать как средние значения для каждой единицы оборудования, так и в среднем по каждому типу оборудования и в целом по всему предприятию;

- среднее время реализации как отдельных элементов ТП, так и всего ТП выпуска продукции;

- средняя длина очередей при работе оборудования. Также можно рассматривать этот индекс в разрезе типов оборудования, цехов и т.д.;

- объем выпущенной продукции участком, цехом, предприятием за период моделирования;

- количество израсходованного сырья по каждому типу;

- число используемого технического персонала за моделируемый интервал времени и др.

Используя первичные индексы, можно построить сколь угодно большое число производных индексов. Чаще всего терминология и показатели, применяемые для системного анализа различных предметных областей, значительно отличаются друг от друга. Поэтому обычно кроме базисных первичных индексов вводятся вторичные (интегрированные) индексы, традиционные для данной предметной области. Эти индексы можно получить, объединив по некоторой формуле ряд первичных индексов и приведя их в используемую в отрасли систему мер и весов. Рекомендуется формировать привычные для промышленного производства показатели функционирования систем: производственная программа, загрузка мощностей, пропускная способность участков и цехов и т.д.

Кроме значений самих индексов обязательно должна быть также рассмотрена и динамика их изменения в процессе моделирования и реализована возможность построения функциональных зависимостей первичных и интегральных индексов от некоторых варьируемых параметров.

К интегральным индексам производительности системы промышленного производства ферросплавов, определяющим рациональный уровень производственной мощности, например, можно отнести:

- *различные показатели пропускной способности* (производительности) участка, цеха, предприятия и т.д.;

- *отклонение* (опоздание/опережение) выпуска от производственной программы (статический и/или динамический показатель отклонения объема выпуска);

- *энергопотребление участков и цехов*, например, насколько потребление электроэнергии в одном эксперименте больше, чем в другом и т.д.

Необходимо заметить, что все действия при имитационном исследовании должны осуществляться по сценарию, понятному и интуитивно доступному специалистам предприятия. Программа, реализующая имитационную модель, созданная профессионалами в моделировании, должна быть окружена дружествен-

ным интерфейсом. Язык для диалога с имитационной моделью должен быть "языком диспетчеров и системных аналитиков". Все множество элементов языка диалога в имитационном приложении нужно разделить на два подмножества – элементы, образующие язык ввода и корректировки исходных данных, и элементы, образующие язык анализа результатов моделирования.

В языке ввода вся терминология и последовательность ввода данных в комплексе должны соответствовать правилам, инструкциям и традициям, принятым в промышленном производстве.

В целом, при работе с комплексом пользователь должен иметь следующие диалоговые возможности ввода и корректировки исходных данных:

- обеспечение удобного и интуитивно понятного ввода исходных данных для модели;
- обеспечение последовательного и регламентированного порядка ввода в соответствии с существующими в отрасли технологиями и инструкциями;
- обеспечение многооконной технологии ввода;
- обеспечение ввода через различные виды контекстных меню с подсказкой диапазонов ввода;
- обеспечение автоматического контроля значенности введенных данных (на тип данных, числа и т.д.), обнаружения ошибок ввода, выдачи подсказок;
- обеспечение работы с данными смежных автоматизированных систем, эксплуатируемых в отрасли, (например, возможность находить и конвертировать файлы статистики);
- обеспечение возможности импорта в качестве исходных данных результатов других экспериментов;
- обеспечение возможности корректировки любых ранее введенных данных до и после эксперимента;
- возможность использования в качестве исходных данных результатов предыдущих экспериментов.

Так, задание схемы производства (расположение и связи между единицами оборудования, материальные потоки) будет осуществляться средствами графического редактора (рис. 1).

Язык анализа результатов включает последовательность выводимых экранных изображений (окна, панели, закладки и т.д.) и команд, управляющих выводом этих изображений, и обеспечивает:

- вывод результатов эксперимента в виде текстовых строк и таблиц; диаграмм, гистограмм и графиков; множества экранных изображений (форм, закладок, книг и т.д.);
- детализацию графического представления (масштабирование, легенда, разметка и т.д.);
- простую и доступную навигацию пользователя в рамках результатов одного эксперимента;
- возможность оперативного анализа результатов серии экспериментов;

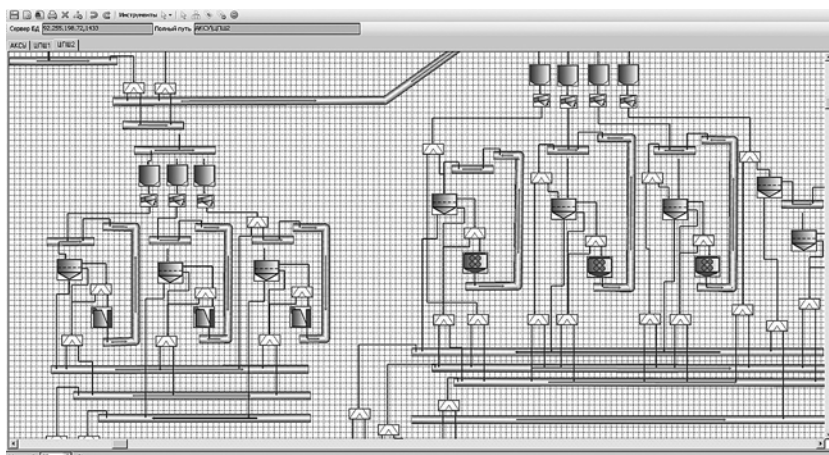


Рис. 1. Графический редактор производственных схем (цех подачи шихты)

- ввод команд пользователя по управлению анализом результатов;
- общесистемные операции запоминания результатов эксперимента, их распечатки и т.д.

Инструментальные средства для вывода изображений с целью анализа результатов и команд по управлению анализом, как и язык ввода, должны быть разработаны в соответствии с современными интерактивными технологиями диалога и требованиями эргономики к рабочему месту и дизайну.

Имитационное приложение (ИП) должно функционировать совместно с информационной системой управления предприятием (ИСУП). Использование статистики БД ИСУП в имитационной модели позволит существенно повысить адекватность последней.

Обмен данными с ИСУП подразумевает: импорт графиков планово-предупредительных работ (ППР) и поставок сырья; статистики поставок сырья для расчета вероятностей опоздания поставок и формирования функций распределения времени опоздания; параметров оборудования; плана отгрузки готовой продукции; производственного плана; статистики для формирования функций распределения времени выполнения различных этапов ТП, моделируемых временной задержкой; статистики для расчета вероятностей отказа оборудования.

Таким образом, разработанное ИП состоит из множества взаимосвязанных программных компонентов, позволяющих максимально автоматизировать и упростить проведение исследований (рис. 2) и включает подсистемы [7]:

- планирования эксперимента (ППЭ), предназначенную для задания плана эксперимента с использованием математических методов или вручную [8];
- мониторинга модели (ПММ), предназначенную для мониторинга значений любых характеристик объектов модели. ПММ позволяет получить динамику изменения состояний объектов в течение процесса моделирования [9].

Применение разработанной имитационной модели позволит повысить технико-экономические пока-

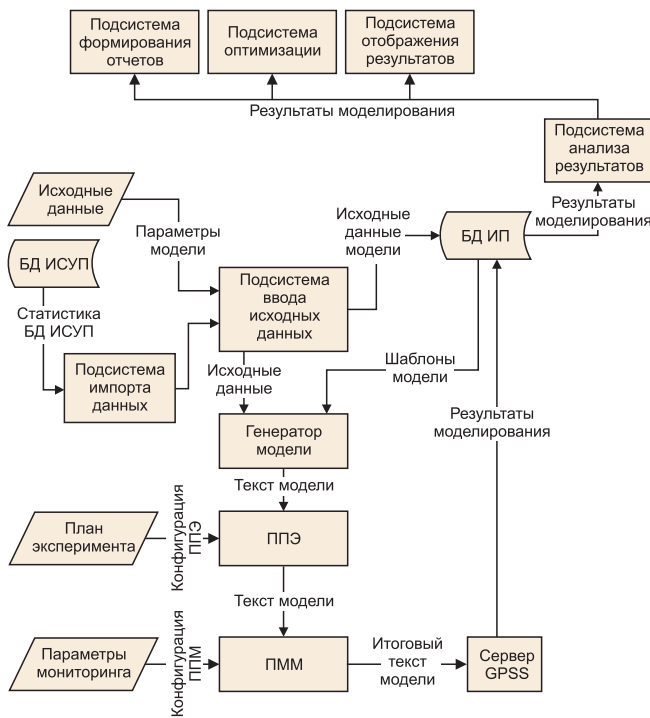


Рис. 2. Схема структуры имитационного приложения

затели производства и улучшить качество выпускаемых ферросплавов за счет:

- оценки влияния на плановые показатели сроков, ритмичности и объемов поставок всех видов потребляемого предприятием сырья;
- анализа загрузки производственных мощностей при различных управляющих и возмущающих воздействиях;
- проверки возможности выполнения производственной программы при выполнении тех или иных плановых ремонтно-восстановительных работ производственного оборудования;
- выбора допустимого уровня тех или иных возмущающих воздействий на основные производственные процессы;
- определения максимально возможного уровня выпуска продукции при существующей системе управления, технического оснащения и организации управления производственными процессами;

- выявления и устранения узких мест в организации технологических и производственных процессов.

Имитационное приложение будет внедряться на Аксуском заводе ферросплавов (филиал ТНК "Казхром", Казахстан). В случае успешного внедрения, планируется адаптация системы и ее внедрение на Донском горно-обогатительном комбинате.

Список литературы

1. Власов С.А., Малый С.А., Томашевская В.С., Тропкина А.И. Интегрированное проектирование металлургических комплексов, М.: Металлургия. 1983.
2. Смирнов В.С., Власов С.А., Ваулинский Е.С., Лебедев Б.И. Методы и модели управления проектами в металлургии. М.: СИНТЕГ. 2001.
3. Власов С.А., Жагловская А.В. Повышение эффективности проектирования бизнес – процессов металлургических предприятий с использованием имитационного моделирования // Тр. I междунар. конф. "Системный анализ и информационные технологии". Том 1. М. 2005.
4. Самойлов В.В., Власов С.А., Девятков В.В. Имитационное исследование системы сервисного обслуживания программно-технических средств ОАО "Татнефть" // Автоматизация в промышленности. 2007. №4.
5. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложений // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. №2.
6. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования // Тр. Всероссийская научно-практич. конф. "Имитационное моделирование, теория и практика". Т 1. С.-Петербург. 2009.
7. Усанов Д.И. Разработка имитационного приложения для анализа и оценки производственных мощностей Аксуского завода ферросплавов // Материалы всероссийской научно-практической конф. "Проблемы перехода к устойчивому развитию монопрофильных городов". Нижнекамск. 2010.
8. Усанов Д.И. Планирование эксперимента и оптимизация на основе нейросетевых метамоделей и генетических алгоритмов в среде GPSS World // Тр. Всероссийская научно-практич. конф. "Имитационное моделирование, теория и практика". С.-Петербург. 2009.
9. Усанов Д.И. Мониторинг имитационных моделей в среде GPSS World и анализ динамики параметров модели в процессе эксперимента // Там же. С.-Петербург, 2007.

Власов Станислав Александрович – канд. техн. наук, начальник

Отдела нанотехнологий и информационных технологий Президиума РАН,

Девятков Владимир Васильевич – канд. техн. наук, директор ООО "Элина-Компьютер",

Усанов Дмитрий Игоревич – аспирант КГТУ им. А.Н. Туполева.

Контактные телефоны: (495)334-87-59, (843) 273-78-04. E-mail: vladimir@elina-computer.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- в России – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- в странах СНГ и дальнего зарубежья – через редакцию (www.avtprom.ru).

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку,

начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте www.avtprom.ru

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.