
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Ю. Горошков (г. Москва)

В.В. Девятков, Е. Нифантьев, М.В. Федотов (г. Казань)

Введение

В 2012-2013 гг. компаниями Интма-Автоматика (Россия, г. Москва) и Элина-Компьютер (Россия, г. Казань) для Донского горно-обогатительного комбината (ТНК Хром, республика Казахстан) разработан вариант имитационного приложения для исследования технологического процесса обогащения хромовых руд.

Цель программы – прогнозирование технико-экономических показателей работы комбината и поиск «узких мест» в технологическом процессе, при различных управляющих и возмущающих воздействиях.

Основные задачи, которые можно решать с использованием приложения:

- Оценка влияния на плановые производственные показатели сроков, объемов и качества добываемого предприятием сырья.
- Анализ загрузки производственных мощностей.
- Проверка возможности выполнения производственной программы при заданных условиях работы комбината.
- Определение «узких мест».
- Определение максимально возможного уровня выпуска продукции при существующей системе управления и технического оснащения.

Пользователями системы являются обогатители, технологи и специалисты технической лаборатории комбината.

В качестве моделирующего ядра выбран язык GPSSWorld. Во-первых, потому, что он способен эффективно выполнять большие модели (в данном случае, порядка 80 тысяч команд и блоков и сотни одновременно присутствующих транзактов). Во-вторых, он проверен многолетним опытом применения, и корректность его работы не вызывает сомнений.

Компоненты имитационного приложения

Технологический процесс горно-обогатительного производства очень сложен. Он включает более 800 единиц оборудования и узлов, характеризующихся множеством индивидуальных параметров.

Технологический процесс не прямолинеен и может быть описан как ориентированный граф произвольного вида. Узлами графа является оборудование, а дугами – направления движения руды. Выбор той или иной ветви на определенном этапе технологического процесса зависит от текущих характеристик руды. Сама руда описывается достаточно большим числом параметров, а ее состав меняется в процессе обогащения. Для определения параметров руды в модели используется статистика, в большом количестве собираемая на предприятии.

Модель комбината включает в себя следующие компоненты:

- Схема технологического процесса.
- Параметры работы оборудования.
- Характеристики руды и данные отдела планирования.

- План поступления руды.
- План производства.
- ППР (план предупредительных ремонтов).
- План отгрузки продукции.
- План расхода электроэнергии.

Описание технологического процесса производится в специализированном графическом редакторе, разработанном с учетом особенностей производства.

Технологический процесс описывается в виде многоуровневой иерархической схемы. На верхнем уровне схемы размещаются поставщики руды (шахты, карьеры) и сама фабрика. На втором уровне описываются участки (цеха) фабрики и потоки, по которым перемещается руда между ними. На третьем и следующих уровнях размещается оборудование участков (цехов) и направления перемещения руды (рис. 1).

Графически, каждый цех и оборудование на схеме представляются стандартизованным изображением. Ее внешний вид близок к используемым на предприятии схемам, что повышает наглядность и удобство работы с ней.

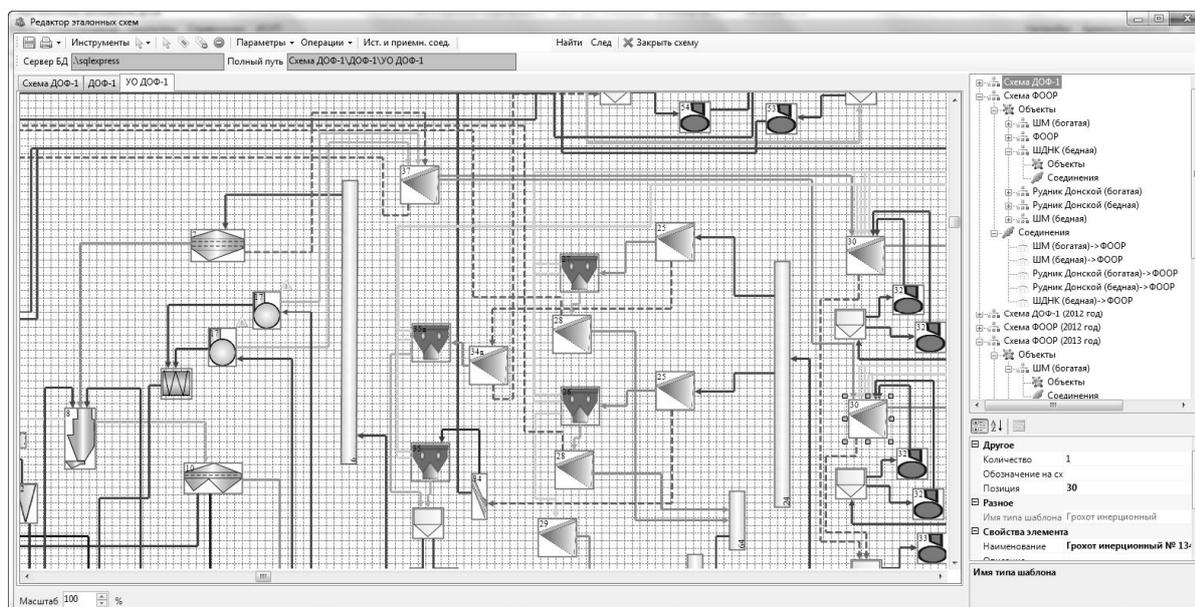


Рис. 1. Схема технологического процесса

Различное оборудование может иметь различное число входов и выходов. Каждый такой вход или выход (например, концентрат сепаратора) представляет собой стрелку, указывающую направление перемещения продукта. Цвет и форма стрелки наглядно представляют тип продукта.

Элементы схемы выбираются из списка, включающего более 100 наименований. Каждое оборудование описывается характерными для него параметрами работы (рис. 2), среди которых: эффективность, расход воды, расход электроэнергии, параметры рассева и обогащения и т.д. Для шахт, карьеров и других источников сырья указывается тип поставляемой руды и ее характеристики.

Состав руды меняется в процессе обогащения. Характер изменения зависит от параметров работы оборудования и начального состава руды. Состав руды очень сильно влияет на процесс обогащения.

Чтобы отслеживать состав руды, на предприятии регулярно проводятся как генеральные опробования (сбор показателей руды на каждом этапе технологического процесса) – рис.2, так и локальные экспресс-анализы. Также, отдел планирования предприятия рассчитывает ожидаемые характеристики руды. В зависимости от периода моделирования и установок технологического процесса, в программу вводятся параметры руды по каждому необходимому узлу технологического процесса.

The screenshot shows a software window titled 'Имитационное приложение ДГОК'. It contains a menu bar with 'Модель', 'Моделирование', 'Результаты', 'Справочники', and 'ИСУП'. Below the menu is a 'Стартовая страница' section with a dropdown menu set to 'Модель ДОФ-1 (01.01.2013 - 31.01.2013)'. A navigation bar includes tabs for 'Редактор производств. схем', 'Параметры оборудования', 'План ППР', 'План ППР обжиг. печей', 'План поступления руды и производства', 'План расхода электроэнергии', 'Гран. составы', and 'Прогноз обогащения'. The main area displays a table for entering ore characteristics, with columns for 'Класс крупности, мм' and 'вых.опер.%' for different crusher types. The table is organized into sections for different crusher models, each with a 'Итого' row.

Класс крупности, мм	Грохот инерционный № 64 (ГИСТ-61) поз. 7, Питание	Грохот инерционный № 66 (Тейбор) поз. 10, Питание	Неподвижный грохот поз. 11, Питание
-160	5,00	5,00	5,00
-160+140	10,00	10,00	10,00
-140+120	5,00	5,00	5,00
-120+100	10,00	10,00	10,00
-100+80	20,00	20,00	20,00
-80+40	10,00	10,00	10,00
-40+20	5,00	5,00	5,00
-20+16	10,00	10,00	10,00
-16+13	15,00	15,00	15,00
-13	10,00	10,00	10,00
Итого	100	100	100

Рис. 2. Форма ввода характеристик руды

Далее, в программу вводятся разнообразные планы: поставок руды, производства продукции, ППР, отгрузки продукции, расхода электроэнергии.

План поставок руды определяет производительность, с которой шахты и карьеры будут выдавать руду обогатительным фабрикам. План поставок задается посуточно и отдельно для каждой работающей шахты или карьера.

В соответствии с номенклатурой производимого продукта, указанной в справочнике программы, вводится производственный план, который определяет количество продукта, который должен произвести каждый участок фабрики за определенный момент времени. План вводится посуточно. Он не влияет на ход моделирования и нужен для сравнения с показателями модели при анализе результатов моделирования.

План ППР определяет график остановки участков (или частей участков) на предупредительные ремонты. В соответствии с этим графиком в модели, по аналогии с предприятием, останавливается то или иное оборудование.

План отгрузки необходим, чтобы контролировать выпуск продукции и правильно рассчитывать текущее содержимое складов и бункеров фабрик.

План расхода электроэнергии, как и производственный план не влияет на ход моделирования. Значения этого плана сравниваются с результатами моделирования при анализе результатов.

Некоторые исходные данные (например, производственные планы) импортируются из КИС предприятия, и не нуждаются в поддержке.

Другие (как например, параметры оборудования, схема технологического процесса, и т.д.) хранятся во внутренней базе данных программного комплекса. Для правильной работы модели, требуется поддерживать эти данные, в актуальном состоянии. Необходимость таких изменений учтена и может быть выполнена с минимальными усилиями. Например,

при добавлении или замене оборудования на фабрике, в программе потребуется описать лишь те изменения, которые связаны с этим оборудованием. Остальные части технологического процесса останутся прежними.

Проверка модели на адекватность

Имитационное приложение и работающая в ее основе модель разрабатывались для действующего промышленного комбината. С ее помощью сотрудники предприятия должны будут оценивать влияние разнообразных изменений в технологическом процессе и исходной руде на качество и количество производимой продукции. По этой причине к модели и всему программному комплексу предъявлялись серьезные требования по адекватности и корректности.

Все параметры и алгоритмы работы оборудования и других моделируемых элементов определялись технологами и обогатителями комбината.

Проверка правильности работы оборудования, связанных групп оборудования, участков, цехов и всей модели комбината проводилась с использованием метода черного ящика. Такая проверка возможна благодаря большому объему статистики, накопленной на комбинате. Согласно ему, на вход проверяемого элемента подавалась руда заданного качества и количества. Создавались условия работы элемента модели, аналогичные условиям, при которых были собраны статистические данные. Результаты работы проверяемого элемента (процентные соотношения разделенной руды и ее состав) должны были быть равны с заданной точностью настоящим результатам.

Проведение экспериментов и анализ результатов

После ввода всех необходимых данных, пользователь может приступить к моделированию. Для этого нужно указать моделируемый период и выбрать тип моделирования: одиночный эксперимент или серию экспериментов.

В качестве отправной точки для эксперимента, используются все перечисленные выше данные. В зависимости от цели эксперимента, любая часть технологического процесса, параметры оборудования, планы и характеристики руды могут быть изменены.

Для проведения серии экспериментов, необходимо дополнительно указать факторы и параметры их изменения, и целевые показатели.

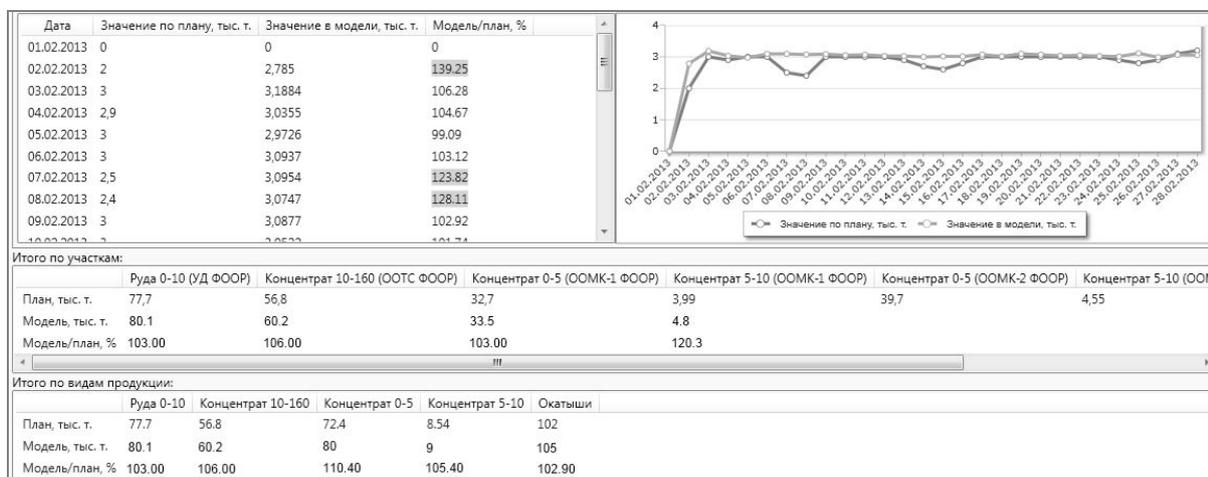


Рис. 3. Количество произведенной продукции

По окончании моделирования, имитационное приложение отображает в форме таблиц и графиков, следующие результаты:

- Количество произведенной продукции по суткам (для каждого цеха и каждого вида продукции отдельно) – рис.3.
- Коэффициент выполнения производственного плана.
- Количество израсходованной электроэнергии (посуточно для каждого цеха).
- Коэффициент выполнения плана расхода электроэнергии.
- Данные о переполнении или опустошении складов.
- Динамику изменения наполненности складов – рис.4.
- Данные о недозагрузке оборудования.

В случае серии экспериментов, выводится группа графиков, отражающих характер изменения выбранных целевых показателей в зависимости от значений исходных факторов.

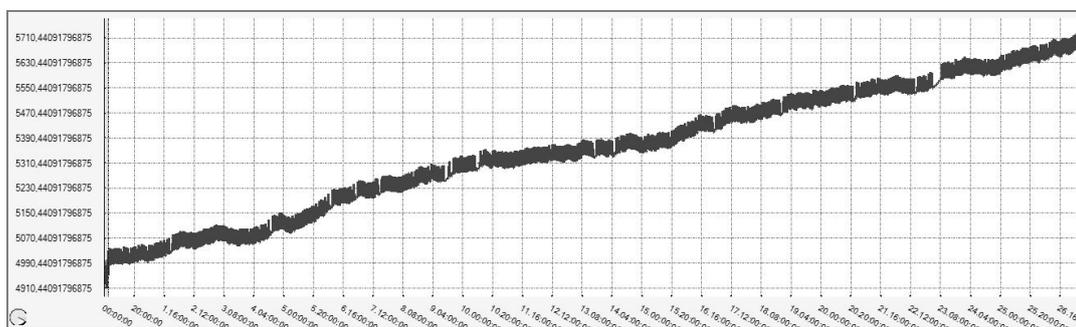


Рис. 4. Динамика изменения наполненности склада

Выводы

Таким образом, представленное имитационное приложение охватывает множество аспектов производственного процесса горно-обогатительного производства. Программа позволяет определять схему технологического процесса, состав и характеристики оборудования, вводить производственные планы. Учитываются качественные и количественные характеристики руды. Имитационное приложение интегрируется с имеющейся на предприятии информационной системой, для доступа к самым актуальным данным.

С ее помощью сотрудники предприятия должны будут оценивать влияние разнообразных изменений в технологическом процессе и исходной руде на качество и количество производимой продукции. Модель поможет им определять загруженность оборудования и другие «узкие» места.

На момент написания статьи, программный комплекс находится в стадии приемки заказчиком. Поэтому, в статье не отражены реальные примеры исследований с моделью комбината.

Литература

1. **Разумов К. А., Перов В. А.** Проектирование обогатительных фабрик. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. И доп. М., Недра, 1982. 518 с.
2. **Зверевич В. В., Перов В. А.,** Основы обогащения полезных ископаемых. М., изд-во «Недра», 1971. 216 с.
3. **Шеннон, Р.** Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
4. Руководство пользователя по GPSS World. /Перевод с английского под редакцией Девяткова В.В./ – Казань: Изд. «Мастер Лайн», 2002. – 384 с.