

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКА В КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ – ПК «РУДОПОТОК»**Г. В. Чудинов (Пермь)****Введение**

Конечной целью работы калийного горнодобывающего предприятия является увеличение объемов добычи полезного ископаемого (ПИ) при одновременном уменьшении издержек. Значительный вклад в итоговую стоимость готового продукта вносят как добыча, так и транспортировка руды в подземной части рудников. В связи с этим актуальной становится задача оптимального планирования горных работ для обеспечения минимально-требуемого содержания ПИ (качество), постоянной загрузки конвейеров и равномерного поступления руды до стволов при общем уменьшения издержек на транспортировку. Дополнительными задачами являются подбор оптимального размера бункеров перегрузочных пунктов (ПП) и мест их расположения, расчет конвейерного транспорта, определение транспортной схемы и способа отработки пластов.

Важно отметить, что классическая задача статического приблизительного расчета производительности комбайновых комплексов детально изучена и решена в специальной литературе, например [1]. Для решения задачи в динамике необходимо имитационное моделирование. Тем не менее, согласно исследованиям автора [2], большинство удачных комплексных моделей относятся к 1980-м годам и технически устарели в связи с бурным развитием вычислительной техники и информационных технологий. Современные разработки В.Л. Конюха [3] посвящены угольным шахтам и исследуют другие аспекты, оставляя в стороне вопросы качественного состава руды, ее добычи на добычных участках, и не учитывают в деталях особенности конвейерного транспорта и потоковый характер перемещения рудной массы.

Для решения поставленных задач с 2008 г. ведутся разработки детальной имитационной модели добычи руды в подземной части калийных рудников и ее программной реализации в виде программного вычислительного комплекса "Рудопоток" [4]. Проект развивается в рамках исследований лаборатории АиТФ Горного института УрО РАН с использованием опыта реализации системы агентного имитационного моделирования [5] (кафедра МОВС, ПГУ).

В докладе рассматриваются основные особенности и отличия разработанной программной модели процессов добычи (пластовая, камерная система отработки комбайновыми комплексами – КК) и транспортировки руды посредством конвейеров и перегрузочных пунктов в подземной части калийных шахт. Предложенная модель прошла верификацию, валидацию и калибровку, а также апробирована на транспортной сети рудника БКПРУ-4. Разработаны методики по определению оптимальных параметров транспортирующего оборудования.

Модель и особенности

Большинство известных моделей в области грузопотоков [1, 2, 3] являются упрощенными либо исследуют часть интересующих аспектов. Часто не учитывается качественный состав руды, невозможно управлять скоростью конвейеров и энергопотреблением и оптимизировать эти параметры. Перемещение руды по конвейерам упрощено и проводится без учета профиля ленты. Добывающие участки заменены агрегатами.

Решение проблемы – использовать агентно-ориентированную парадигму в моделировании [0]. В ней имитационная модель добычи руды в шахте представляет собой объектную расширенную схему конвейерного транспорта. В программе задается струк-

тура транспортной сети – блоки, конвейеры, перегрузочные пункты и связи между ними (рис. 1).

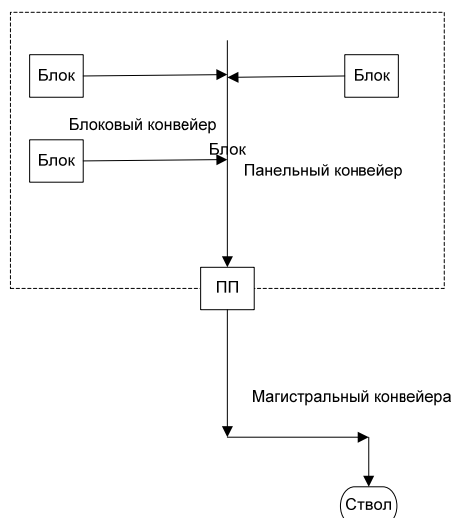


Рис. 1. Модель транспортной схемы рудника – основные составляющие

Пользователь вводит параметры для конвейеров: длину, ширину ленты, скорость ее перемещения, угол наклона боковых роликов и др. Перегрузочные пункты (ПП) оснащаются разгрузочными устройствами (РУ) с задаваемой производительностью для каждого. Добывающий участок разбит на естественные составляющие – пласты и комбайновые комплексы (рис. 2). Каждая единица имеет свои задаваемые параметры. Учитываются порядок работы комбайновых комплексов, модели оборудования и физические ограничения, а также размеры и частота размещения камер, рудоспусков; технологические и организационные простои. Все вводимые параметры непосредственно влияют на процесс имитации и получаемые результаты.

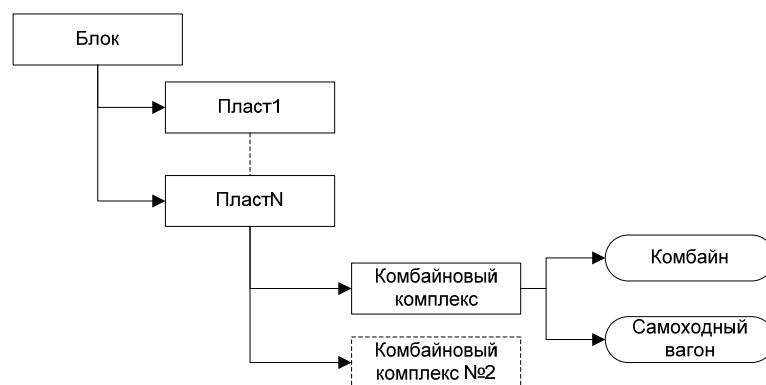


Рис. 2. Структура составляющих добычного участка (блока)

Существенное отличие – организация перемещения руды по конвейерам с послойным хранением руды (рис. 3) и учетом формы профиля ленты (рис. 4). Реализованы потоковый характер процесса (накопление и опустошение бункеров в зависимости от соотношения пропускной способности РУ и поступающей массы) в дискретной модели; пропорциональная разгрузка на несколько конвейеров.

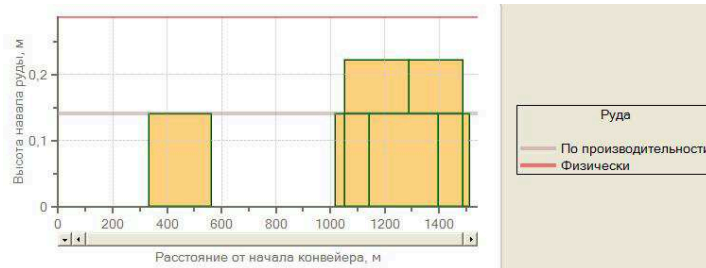


Рис. 3. Распределение руды по высоте и длине ленты конвейера

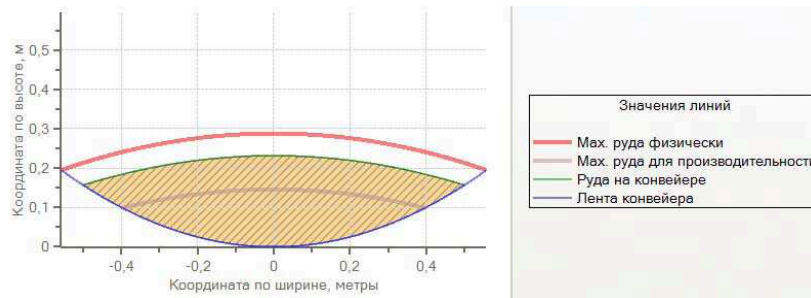


Рис. 4. Профиль ленты конвейера

Учитывается качественный состав перемещаемой рудной массы – он определяется в процессе добычи на обрабатываемых пластах в блоках (добычных участках). Отслеживается изменение содержания ПИ при смешивании с рудой в бункерах перегрузочных пунктов и в результате наслаивания руды на панельных (магистральных) конвейерах.

Разработаны методики расчета средней требуемой производительности конвейеров и минимально требуемых объемов бункеров ПП на основе серий имитационных экспериментов на откалиброванной модели (потребовало натуральных замеров продолжительности операций во время работы комбайнового комплекса). Учитывается средняя загруженность оборудования во время серии прогонов (рис. 5). В качестве результирующего значения берется максимальное по всем опытам.

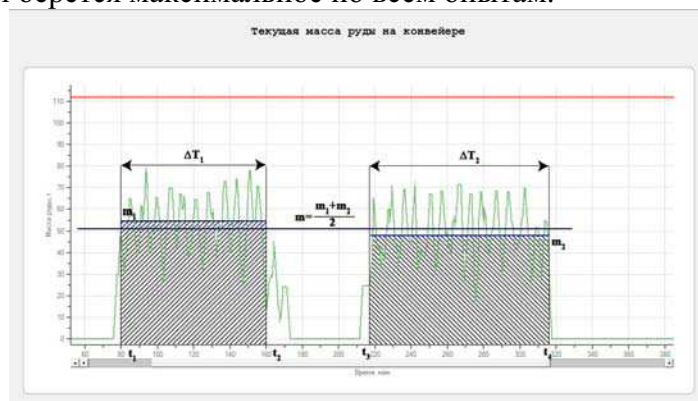


Рис. 5. Определение средней массы руды по всей ленте конвейера

Высокоуровневая архитектура программы “Рудопоток”

Завершенная программная реализация представляет собой взаимодействие во времени трех основных модулей по сферам ответственности: графический интерфейс (ГИ), сохранение данных и имитационная модель (ИМ) (рис. 6). В свою очередь, ГИ и ИМ разбиваются на более мелкие составляющие.

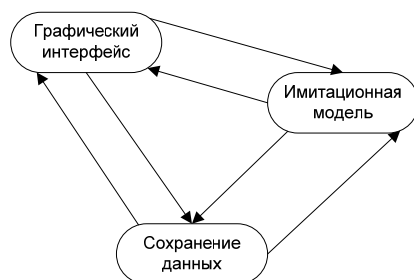


Рис. 6. Архитектура системы имитационного моделирования ПК “Рудопоток”

Графический интерфейс (рис. 7) обеспечивает общее редактирование пользователем данных (задание структуры транспортной сети и основных ее составляющих – блоков, конвейеров и перегрузочных пунктов, взаимосвязей между ними; параметров моделей оборудования). Кроме того, после проведения имитационного эксперимента (серии) выводятся результаты прогона модели в виде графиков масс руды, ее качественного состава во времени (рис. 8). Реализована анимация процессов добычи и транспортировки в шахте на основе получаемых исторических данных из завершенного эксперимента.



Рис. 7. Составляющие графического интерфейса

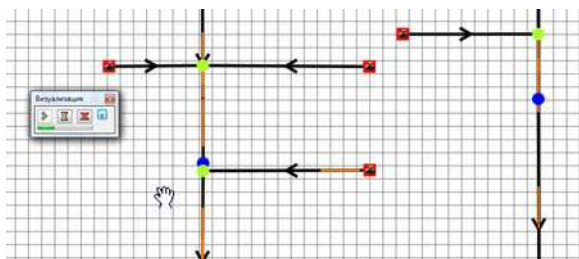


Рис. 8. Анимации добычи руды на всей транспортной сети, блоки отключены

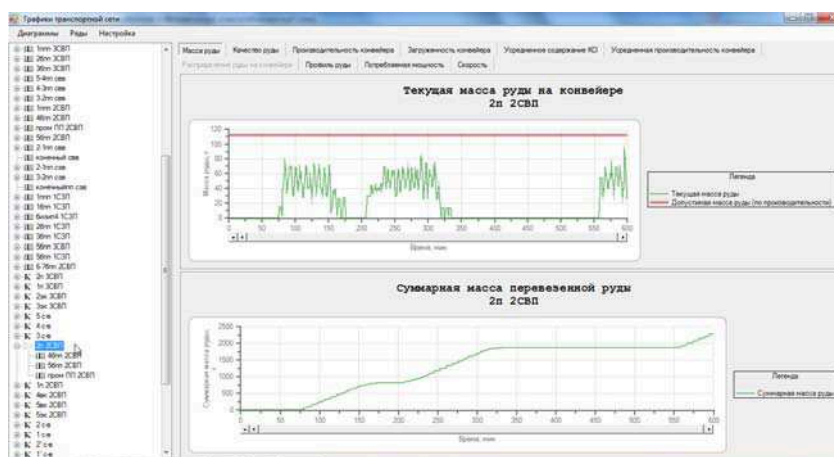


Рис. 9. Подсистема сбора статистики (хранения данных)

Модуль сбора статистики представляет классы для агрегирования и сохранения состояний объектов во времени и сбора статистической информации по завершению моделирования. Основой оптимизации является линейризация данных, когда оставляются начало и конец отрезка для линейно меняющихся параметров (рис. 9).

Имитационная модель состоит из классов предметной области (рис. 10), системы продвижения времени и модуля сбора статистики. Предметная область реализует основные классы понятий, такие как блок, конвейер, перегрузочный пункт. Поведение оборудования во времени (комбайн, самоходный вагон) моделируется на основе диаграммы состояний (работа без влияния извне) и деятельности (взаимодействие оборудования, например, перегрузка руды). Система продвижения времени составляют планировщик, в котором реализованы алгоритмы дискретно-событийного продвижения времени с переменным и постоянным шагом.

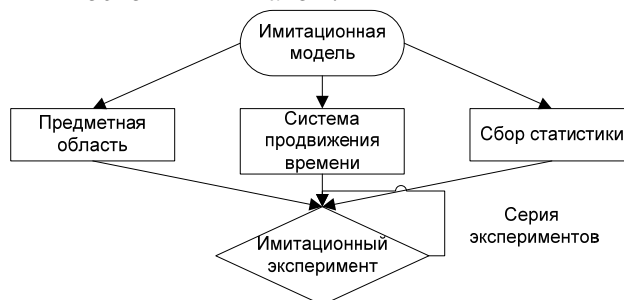


Рис. 10. Основные составляющие имитационной модели

Выводы

Таким образом, разработана объектная имитационная модель добычи руды в подземной части калийных рудников. Проведена ее верификация, валидация и калибровка. На ее основе разработаны и предложены методики расчета оптимальных параметров оборудования (объема бункера ПП, ширины ленты конвейера). Модель реализована в виде программного вычислительного комплекса «Рудопоток», предоставляющего основные возможности для построения, запуска и анализа транспортных сетей (как уже имеющихся, так и еще строящихся), анимации процессов добычи и транспортировки руды, происходящих по всей шахте в целом. Проведена экспериментальная проверка результатов на транспортной схеме рудника БКПРУ-4 за 2010г.

Литература

1. **Лыхин П. А.** Добыча калийных солей.
URL: http://www.mi-perm.ru/authors/lyhin/b1_text.htm#s [Проверено 17.07.11г]
2. **Панасюк И. И.** Имитационное моделирование организации рудопотока и управления затратами горнорудного предприятия: дис. канд. экон. наук: СПб., 2005. 263 с.
3. **Конюх В. Л.** Имитационное моделирование системы подземного транспортирования // Проблемы информатики, 2010. №3. С. 43–53.
4. Программно-вычислительный комплекс имитационного моделирования «Рудопотоки»
URL: http://www.mi-perm.ru/solution/nr?show_id=18 [Проверено 24.09.11г].
5. **Замятина Е. Б., Чудинов Г. В.** Разработка и использование программных средств для построения и исследования агентных имитационных моделей. // Вестник пермского университета. Математика, механика, информатика, 2010. № 2(2). С. 80–84.
6. **Macal C. M., North M. .** Agent based modeling and simulation / C.M. Macal, M.J. North // In the Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, ed. Rossetti M. D., Hill R. R., Johansson B., Dunkin A., Ingalls R.G., 2009. P. 86–98.