

Оригинальная концепция машинного обеспечения использует самые современные компоненты и задаёт новые масштабы в отношении функциональности, скорости, надёжности эксплуатации. Многоцветная графическая индикация делает dia.ne удобным интерфейсом между человеком и машиной. Она значительно облегчает работу как обслуживающему, так и сервисному персоналу.

Отдельные компоненты соединяются между собой помехоустойчивой проводкой (промышленная шина). Регистрация текущих значений осуществлена в концепции вынесенных (децентрализованных) блоков входов/выходов, I/O.

Дальнейшие исследования включают в себя детальное обоснование параметров системы регулирования двигателем привода и совмещение ее через единый интерфейс с системой регулирования генератора.

Литература

1. Когенерация - эффективный метод энергосбережения в Украине [Текст] / В. В. Кузьмин, И. Г. Кирисов // Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників академії (45-а; 17-20 грудня 2011 р.; Харків) : збірник тез доповідей / Укр. інж.-пед. акад. - Х. : [б. в.], 2012. - Ч. 1 : Енергетичний факультет. Секції : Електроенергетики. Теплоенергетичних установок. Охорона праці, метрологія та сертифікація. - С. 12.
2. Официальный сайт шахты им. «А. Ф. Засядько» <https://http://zasyadko.net/>
3. DIA.NE.XT. Руководство пользователя v.11.02.
4. Сайт General Electric. <http://www.ge.com/>

УДК 622.7:519.242

К ВОПРОСУ ОБОГАЩЕНИЯ СЫРЬЯ НА ОСНОВНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Березовский Н.И., Воронова Н.П., Грибкова С.М., Рухля И.Е.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

В статье рассмотрены рациональные подходы по переработке нерудных строительных материалов, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение. Изложены обоснованные результаты по оптимизации проектных параметров внутрикарьерных усреднительных складов, использование которых обеспечивает решение актуальной прикладной проблемы управления качеством подаваемой на переработку валунно-гравийно-песчаной смеси.

Одним из приемов, создающих условия для поставки горной массы заданного состава, является селективная выемка разносортного сырья и его усреднение. Селективная выемка применяется на некоторых карьерах нашей страны, а усреднение гравийно-песчаной смеси (ГПС) в карьерах не применяется вообще из-за стремления экономить средства за счет строительства усреднительных сооружений, хотя затраты на их устройство не

такие уж и большие, особенно на склады полузакрытого типа. На зарубежных карьерах усреднительные склады между отделениями первичного и вторичного дробления получили распространение еще 50 лет назад. Это способствовало увеличению чистого времени работы, поскольку разрывалась жесткая связь между карьером и дробильно-сортировочным заводом (ДСЗ) и образовывалась гибкая связь «карьер–усреднительный склад–дробильно-сортировочный завод».

Организация промежуточного склада может увеличить мощность и экономичность работы предприятия за счет: увеличения чистого времени работы комплекса добычного оборудования и дробильно-сортировочного завода (ДСЗ); обеспечения равномерной и по возможности максимальной загрузки технологического оборудования ДСЗ; возможности усреднения качества поставляемого на ДСЗ сырья (должно быть 40 – 50 % гравия и валунов в сырье); концентрации горных работ во времени, введения двухсменного, а в ряде случаев односменного режима работ в карьере с увеличением единичной мощности горнотранспортного оборудования. Вместимость и тип промежуточного склада зависят от производительности ДСЗ [1].

При расчете вместимости промежуточного склада необходимо принимать следующие допущения и предположения: длительность непрерывной работы и длительность простоев комплексов добычного оборудования (КДО) распределены по экспоненциальному закону; последовательные интервалы времени, в течение которых КДО работает и простаивает, независимы; в период работы комплекса перерабатывающего оборудования (ДСЗ) при полном заполнении промсклада КДО работает с производительностью, соответствующей производительности ДСЗ.

Правильность предположения об экспоненциальном распределении длительности простоев КДО подтверждена данными хронометражных наблюдений. Экспоненциальность распределения длительности периодов непрерывной работы КДО обуславливается тем, что отказы оборудования КДО происходят в случайные моменты времени и распределены по закону Пуассона. Обычное применение распределения Пуассона состоит в предсказании количества событий, происходящих за определенное время, например, количество машин, появляющихся на площади за 1 минуту. В нашем случае определяется вероятность пустого склада в момент окончания перерыва в работе и вероятность того, что в течении какого-то времени склад полон при известных интенсивности расходования и поступления сырья на промсклад и объема сырья на промскладе.

Для решения задач управления потоком нерудного сырья и оптимизации параметров внутрикарьерных складов нами были разработаны две модели: M_1 и M_2 . Модель склада M_1 предназначена для решения задачи управления качеством валунно-гравийно-песчаной смеси, проходящей

усреднительный склад, модель M_2 – для определения оптимальных параметров самого склада. Задача управления потоком требует решения в реальном времени, тогда как задача оптимизации параметров склада относится к классу инженерно-расчетных и не имеет жесткой временной увязки [2].

Блок 1 представляет собой набор процедур, формирующих из исходных данных последовательность выемочных блоков, обрабатываемых одновременно несколькими экскаваторами, находящимися в состоянии добычи в моделируемом периоде.

Блок 2 представляет собой совокупность процедур, осуществляющих формирование непрерывной последовательности поступления автосамосвалов на усреднительный склад. Блок 3 включает процедуры, моделирующие формирование усреднительного штабеля. Содержание блока различно для моделей M_1 и M_2 . В модели M_1 штабель представлен трехмерным массивом, состоящим из элементов, представляющих порцию валунно-гравийно-песчаной смеси объемом $0,1 \text{ м}^3$. Каждому элементу массива присваивается идентификатор блока смеси одного из работающих добычных экскаваторов, выгруженной из автосамосвала на склад. Идентификаторы блоков извлекаются из последовательности поступления автосамосвалов на склад, сформированной процедурами блока 2. Размерность массива A-D-C, характеризующего усреднительный штабель, определяется:

$$A = \frac{L}{d}; B = \frac{b}{d}; C = \frac{h}{d},$$

где L – длина штабеля, м; b – ширина штабеля ($b < 30$ м); h – высота штабеля ($h = 7$ м); d – размеры порции смеси, принимаемой за элементарный объем (элемент массива) с постоянным качеством ($d = 0,1$ м).

В модели M_2 , предназначенной для оптимизации параметров склада, штабель представлен матрицей, где каждый элемент характеризуется объемом и качеством порции смеси, доставленной автосамосвалом от добычного экскаватора, а каждый столбец – объемом и качеством смеси в отгружаемом со склада автосамосвале. Блок 4 объединяет набор процедур, осуществляющих расчет контролируемых выходных параметров вектора Y . Блок 5 включает процедуры: отображения последовательности поступления автосамосвалов на входе склада, сформированного штабеля в сечениях, функции качества по длине склада. Таким образом, разработанные модели усреднительного склада M_1 и M_2 , представляют собой инструмент для постановки активного эксперимента с целью исследования закономерностей процесса штабельного усреднения и установления зависимости качественных характеристик подаваемой на переработку валунно-гравийно-песчаной смеси от проектных параметров внутрикарьерных усреднительных складов при оперативном управлении потоком нерудного сырья.

Далее произведены оценка корректности моделей, планирование и постановка эксперимента по определению рациональных параметров внутрикарьерных усреднительных складов для условий разработки месторождений валунно-гравийно-песчаной смеси Крапужино Логойского района Минской области и Дубровка Шкловского района Могилевской области. Постановка задачи, решаемой моделью M_1 выглядит следующим образом: имеются геологические данные об объемах и качестве планируемых к добыче выемочных блоков (недельно-суточный график) и объем формируемого штабеля (длина штабеля). Требуется определить общее содержание гравия в штабеле, его ситовых характеристик и дисперсию качества в отгружаемых порциях за период моделирования. В качестве исходных данных для моделирования, характеризующих параметры потока на входе склада, использован массив геологических показателей за полгода: с 1 января по 1 июля 2010 года. В результате экспериментов установлено, что модель M_1 , используемая в задачах управления потоком, адекватна технологическому процессу и имеет высокую точность. Ошибка при подсчете объемов составляет $0,37-0,5 \times 10^{-2} \%$, ошибка при подсчете гравия общего содержания, второго и третьего сит – соответственно $0,25-0,7 \times 10^{-3}$, $0,02-0,12$ и $0,12-0,3 \times 10^{-3} \%$ при доверительной вероятности 95 %. Постановка задачи, решаемой моделью M_2 выглядит следующим образом: имеются геологические данные об объемах и качестве планируемых к добыче выемочных блоков. Требуется определить объем формируемых штабелей для обеспечения дисперсии качественных характеристик гравия в отгружаемых порциях относительно среднего (при оптимальном среднем значении содержания гравия в смеси – 45 %) не более 10 %. Для проверки адекватности модели M_2 в качестве контролируемого параметра принято общее содержание гравия в смеси, как основной качественной характеристики. На вход модели подавались геологические данные, полученные результаты сопоставлялись с лабораторными показателями. Погрешность результатов моделирования относительно лабораторных показателей составила $5,2 \times 10^{-3} \%$, при этом ошибка геологических относительно лабораторных данных – $5,0 \times 10^{-3} \%$ с доверительной вероятностью 95 %. Следовательно, точность модели M_2 достаточна для решения задачи оптимизации параметров усреднительных складов [3].

В качестве управляемых параметров при планировании эксперимента с использованием модели M_2 были приняты: X_1 – длина усреднительного штабеля L ; X_2 – режим поступления автосамосвалов на склад; X_3 – направление перемещения фронта разгрузки автосамосвалов. Эффективность усреднения на внутрикарьерных складах определяется общей дисперсией качества валунно-гравийно-песчаной смеси в отгружаемых со склада пор-

циях смеси σ^2 . Таким образом, целевая функция (критерий оптимальности) Y при постановке эксперимента имеет вид: $\sigma^2 \rightarrow \min$.

Задача решалась при помощи математического планирования эксперимента [4]. Полный трехфакторный эксперимент проводился в окрестностях точки факторного пространства с координатой $X_{10} = 120$ м. Условия проведения полного факторного эксперимента приведены в табл. 1.

Матрица планирования для полного трехфакторного эксперимента представлена в табл. 2.

Для исключения систематических ошибок эксперименты, предусмотренные матрицей, проводили в случайной последовательности. Порядок проведения выбирали по таблице случайных чисел. Опыты не дублировали. Для определения дисперсии параметра оптимизации было проведено три эксперимента на основных уровнях при длине штабеля 120 м.

Дисперсия параметра оптимизации s_y^2 вычислена по формуле:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{n=1}^{n_0} (y_n - y_{cp})^2}{m_0 - 1} = \frac{0,0008}{3 - 1} = 0,0004,$$

где $n_0 = 1, 2, 3$ – номер эксперимента на основном уровне, $y_n = 0,5; 0,52; 0,48$ – параметр оптимизации, $y_{cp} = 0,5$ – среднее значение параметра оптимизации.

Таблица 1. Характеристика плана эксперимента по определению оптимальных параметров внутрикарьерного усреднительного склада

Характеристика	Длина штабеля, м	Режим поступления автосамосвалов	Направление заполнения штабеля
	X1	X2	X3
Основной уровень	120	-	-
Интервал варьирования	80	-	-
Верхний уровень +1	200	равномерное	параллельно
Нижний уровень -1	40	случайное	перпендикулярно

Таблица 2. Матрица планирования для полного трехфакторного эксперимента

Номер опыта или эксперимента	Порядок реализации экспериментов	Фактор X_1	Фактор X_2	Фактор X_3	Параметр оптимизации Y_{cp} (σ – общая дисперсия качества смеси)
1	4	+1	+1	+1	0,18
2	3	-1	+1	+1	0,50
3	8	+1	-1	+1	0,25
4	5	-1	-1	+1	0,56
5	7	+1	+1	-1	0,55
6	2	-1	+1	-1	0,60
7	1	+1	-1	-1	0,54
8	6	-1	-1	-1	0,78
Итого:					3,76

Коэффициенты регрессии b_i вычислим по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N y_{jcp}}{N} = \frac{3,76}{8} = 0,47; \quad b_1 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j} y_{jcp}}{N} = \frac{-0,92}{8} = -0,115;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{2j} y_{jcp}}{N} = \frac{-0,296}{8} = -0,037;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{3j} y_{jcp}}{N} = \frac{-0,98}{8} = -0,123.$$

Средняя квадратичная ошибка в определении коэффициентов регрессии составит:

$$s\{b_1\} = \sqrt{\frac{s_y^2}{N}} = \sqrt{\frac{0,0004}{8}} = 0,007.$$

Доверительный интервал коэффициентов регрессии вычислим по формуле:

$$\Delta b_1 = \pm t_T \cdot s \{b_1\},$$

где t_T – критерий Стьюдента.

При 5% уровне значимости и числе степеней свободы $f = n_0 - 1 = 2$ табличное значение критерия $t_T = 4,3$ [5]. Следовательно, доверительный интервал коэффициентов равен:

$$\Delta b_i = \pm(4,3 \times 0,007) = \pm 0,03.$$

Все коэффициенты регрессии по абсолютной величине больше доверительного интервала, поэтому их можно признать статистически значимыми.

Дисперсию адекватности найдем по формуле:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_{jcp} - y_{расч.j})^2}{N(k+1)} = \frac{0,0066}{4} = 0,0017.$$

Проверку адекватности модели производим по F – критерию Фишера:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_y^2} = \frac{0,0017}{0,0004} = 4,25.$$

Табличное значение F_m – критерия при 5 % уровне значимости и числе степеней свободы для числителя 4 и знаменателя 2 равно 19,3, значит $F_p < F_m$, и можно сделать вывод об адекватности модели. В результате эксперимента установлено, что требуемое технологией переработки значение общей дисперсии в отгружаемых порциях смеси (при оптимальном среднем значении содержания гравия в смеси – 45 %) достигается при длине склада 180–195 м ($\sigma^2 = 0,23$) при направлении разгрузки автосамосвалов параллельно оси штабеля вне зависимости от режима поступления автосамосвалов. Уравнение регрессионной зависимости общей дисперсии в отгружаемых порциях валунно-гравийно-песчаной смеси от исследуемых факторов имеет вид:

$$Y = 0,47 - 0,115 \times X_1 - 0,037 \times X_2 - 0,123 \times X_3.$$

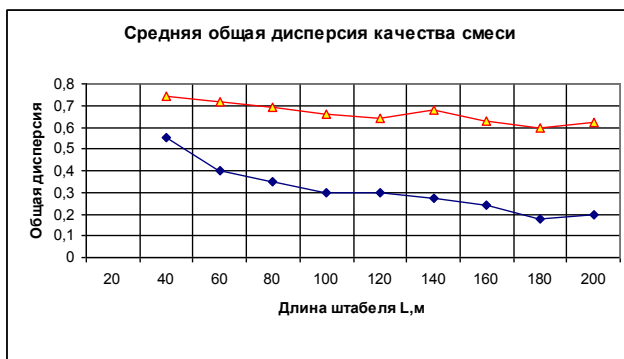


Рис. 1. Зависимость средней общей дисперсии качества σ^2 валунно-гравийно-песчаной смеси в зависимости от длины штабеля L

(нижняя линия отображает наилучшие показатели, которые наблюдаются при равномерном поступлении автосамосвалов на склад и разгрузки смеси параллельно фронту, верхняя линия показывает наилучшие показатели, которые наблюдаются при случайном поступлении автосамосвалов на склад и разгрузки смеси перпендикулярно фронту).

Таким образом, наибольшее влияние на критерий оптимизации, судя по величине коэффициентов регрессии, оказывает фактор X_3 – направление разгрузки автосамосвалов и заполнение штабеля. Фактор X_1 – длина штабеля – также имеет существенное влияние на качество усреднения. С увеличением длины штабеля общая дисперсия качества смеси уменьшается. Значимость коэффициента фактора X_2 находится на границе допустимого значения, следовательно, режим поступления автосамосвалов практически не влияет на качество усреднения смеси. Изменения средней общей дисперсии σ^2 качества валунно-гравийно-песчаной смеси в зависимости от длины штабеля и средней дисперсии качества приведены на рис. 1.

Литература

1. Ржевский, В.В. Основы физики твердых пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новиков. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
2. Бейко, И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. – Киев: Вища школа, 1983. – 512 с.
3. Воронова, Н.П. Теплотехнические расчеты при проектировании технологических процессов устройства асфальтобетонных покрытий / Н.П. Воронова [и др.] // строительная наука и техника. – 2007. - №3. – С. 59-61.
4. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Граковский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
5. Бусленко, Н.П. Методы статистического моделирования / Н.П. Бусленко. – М.: Статистика, 1970, – 112 с.