

УДК 004.691.54

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ЦЕМЕНТНЫХ МЕЛЬНИЦ

Гришковец В.А., Светличная В.А.

*Донецкий национальный технический университет,
кафедра автоматизированных систем управления
valentin@slon.dn.ua*

Формализована задача планирования с критериями поиска и ограничениями. Для поиска оптимального решения предложен генетический алгоритм, для которого выбран одноточечный кроссовер, начальная популяция с учетом состояния мельниц. Представлены результаты работы описанной подсистемы.

Постановка задачи

Цементное производство организовано таким образом, что главным производственным оборудованием являются мельницы помола цемента. В зависимости от мощности завода этих мельниц может быть несколько.

Производимый продукт (цемент) может быть разного качества, которое оценивается маркой. Обычно марок выпускаемого цемента в несколько раз больше, чем мельниц.

Планирование выпуска цемента осуществляется согласно заказам, которые получает завод и которые в каждом месяце могут быть различными. Основными параметрами заказов являются марка цемента его количество и дата, к которой этот заказ должен быть произведен.

Особенностью цементного производства является то, что при переходе от производства одной марки цемента к производству другой необходимо произвести перенастройку мельниц. Это ведет к экономическим потерям, которые определены простоем самих мельниц, затратами энергетическими и трудовыми, более быстрым износом определенных частей технологического оборудования.

Сокращение количества перенастроек мельниц позволит значительно сократить указанные потери, а соответственно увеличить доход от производства.

Для решения такой задачи разрабатывалась компьютерная подсистема, которая позволит решить данную задачу путем повышения оперативности производственного управления на предприятии.

Одной из составных частей такой подсистемы является разработка алгоритмического и программного обеспечения, обеспечивающего составление оптимального графика запуска различных марок цемента.

Необходимо разработать алгоритм для решения задачи со следующими условиями. Пусть имеется неопределенное количество клиентов $K = (1, n)$, от которых ежемесячно поступают заявки на цемент. В активе предприятия имеется 4 мельницы помола цемента, которые работают круглосуточно. При планировании производства цемента, учитывая технологические особенности, время работы мельницы равно 20 часам в сутки. Предприятие выпускает 12 различных марок цемента, некоторые из которых существенно отличаются по составу. Каждая мельница может производить одну марку цемента. Для смены марки необходимо переключить и настроить мельницу. Среднее время переключения мельницы равно 2 часам. Цемент, который произведен сверх плана сохраняется в силосах. В активе предприятия имеется 25 силосов для хранения цемента, объем которых равен 2500 тонн цемента. Среднее время хранения цемента 6 месяцев. Производительность каждой марки цемента различна и колеблется от 24 до 30 тонн/час.

Решение задачи

Планирование расписания загрузки мельниц происходит в конце месяца. Входными данными

для подсистемы служит информация из базы данных, а именно:

1. Массив клиентов $C = (1..n)$;
2. Массив коэффициентов срочности выполнения заказов $R_i = (0..1)$, i принадлежит K ;
3. Массив загруженности силосов в тоннах $S_i = (0..2550)$;
4. Массив состояний мельниц на данный момент: производят i -ю марку цемента, находятся в режиме переключения, простаивают.

Для оценки эффективности расписания загрузки цементных мельниц необходимо выбрать целевую функцию и ограничения для поиска оптимального решения. Основные затраты предприятия, связанные с переключением мельниц и составлением неоптимального плана загрузки мельниц:

- затраты при простое мельниц;
- затраты на электроэнергию;
- затраты, связанные с ремонтом редуктора;
- затраты, связанные с превышением времени производства цемента;
- затраты при перевыполнении плана производства цемента [1].

Учитывая возможные затраты и приведенные ниже ограничения, вид фитнес-функции представлен формулой (1).

$$\min Z(i) = \sum_{i \in n} (\min(t_n) * 2 * (S_n + S_\varepsilon + S_p) + \min(T_{\phi i}) * S_{\text{ш}} + \min(K * R_i) * S_{\text{ц}}), \quad (1)$$

где S_n – сумма затрат при простое мельницы равному один час;

S_ε – сумма затрат, связанная с затратами на электроэнергию;

S_p – стоимость редуктора при одном переключении мельницы;

$S_{\text{ш}}$ – пеня за превышение срока производства цемента;

$S_{\text{ц}}$ – средняя стоимость 1 тонны цемента;

K – количество тонн, которые не успели произвести клиенту в установленные сроки.

Основные критерии, по которым можно оценить эффективность полученного расписания загрузки цементных мельниц:

1. Минимизацию временных затрат на переключение мельниц можно представить с помощью формулы (2).

$$t_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где τ_{ij} – время переключения i -й мельницы j -й раз, t_n – общее время переключений мельниц.

2. Минимизация затрат, связанных со статусом клиента, продемонстрирована формулой (3)

$$S_c = \sum_{i=1}^n (K_i * R_i) * S_{\text{ц}} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Были введены несколько ограничений:

- Ограничения по объемам производства цемента:

$$V_{nli} = V_{\phi i}, \quad (4)$$

где V_{nli} – плановый объем производства цемента i -й марки,

$V_{\phi i}$ – фактический объем производства цемента i -й марки. Причем:

$$V_{\phi i} = V_{nli} \pm \alpha, \quad (5)$$

где α – процент возможного отклонения от плана, который зависит от популярности заказа марки в данный момент, прогноза, предыдущего планирования. Этот процент рассчитывается экспертами и при составлении плана уже учитывается в заказе. Цемент, произведенный сверх плана, сохраняется в силосах и может использоваться при следующем планировании загрузки мельниц.

- Ограничения по срокам производства цемента

$$T_{nli} \geq T_{\phi i}, \quad (6)$$

где T_{nli} – плановое время производства i -й марки цемента, $T_{\phi i}$ – фактическое время производства i -й марки цемента.

Ограничение (4) гарантирует производство количества тонн цемента, необходимого по плану. Количество тонн, которое будет произведено сверх плана, будет сохраняться в силосах, и будет

учитываться при подсчете затрат предприятия. Ограничение (6) гарантирует производство цемента в установленные сроки. Превышение срока также влечет за собой потери для предприятия.

Для решения поставленной задачи был использован генетический алгоритм. Генетический алгоритм случайным образом генерирует начальную популяцию хромосом. Затем алгоритм генерирует следующее поколение (популяцию) с помощью трех основных генетических операторов:

- оператор репродукции (ОР);
- оператор скрещивания (кроссинговера, ОК);
- оператор мутации (ОМ).

Генетический алгоритм работает до тех пор, пока не будет выполнено заданное количество поколений процесса эволюции, или на некоторой генерации будет получено заданное качество.

Преимуществом генетических алгоритмов перед другими является простота их реализации, относительно высокая скорость работы, параллельный поиск решения сразу несколькими особями, позволяющий избежать попадания в «ловушку» локальных оптимумов (нахождения первого попавшегося, но не самого удачного оптимума) [2]. Результаты применения генетических алгоритмов продемонстрировали их перспективность для решения задач данного типа.

Для данного задания использовались два различных представления хромосомы. Двоичное представление хромосомы в виде 0 и 1 использовалось для кодирования количества тонн для производства каждой марки. Для кодирования номера марки и номера мельницы, на которой будет произведена данная марка, использовалось представление, где каждая хромосома является m -мерным вектором, который состоит из целых чисел от 1 до n : целое число, которое стоит на j -ом месте обозначает номер марки, которую необходимо произвести. Например, если $n = 4$, $m = 12$, то хромосома $\{4,1,2,3,2,3,4,3,2,1,2,3\}$ представляет один из возможных вариантов, где марки 2,10 будут производиться на 1 мельнице, 3,5,9,11 будут производиться на 2 мельнице, 4,6,8,12 на мельнице №3, а 1 и 7 на последней 4-й мельнице.

Для сравнения качества допустимых и недопустимых решений используется 2 функции: $z(x)$ и $u(x)$, где $z(x)$ – целевая функция, $u(x)$ – сумма величин нарушений ограничений. Таким образом, при сравнении 2 решений x_1 и x_2 считается, что решение x_1 лучше решения x_2 , если:

$$u(x_1) < u(x_2) \text{ или } u(x_1) = u(x_2) \text{ и } z(x_1) < z(x_2) \quad (7)$$

Параметры генетического алгоритма были установлены: одноточечный кроссинговер с вероятностью кроссинговера = 0.6, вероятность мутации = 0,05, которая заключается в изменении гена в 2 хромосомах для контроля времени работы мельниц, размер популяции = 400. Размер хромосомы, которая кодирует количество тонн, которое необходимо произвести, равен 15 битам. В таблице 1 представлен реальный план производства цемента на месяц, предоставленный предприятием.

Данная таблица использовалась в качестве входной информации для подсистемы, результат работы которой представлен на рисунках 1 – 2.

Эксперимент показал, что при использовании таких параметров, с 20 запусков генетического алгоритма, в 4 случаях находился минимум фитнес-функции. Для эффективной работы генетического алгоритма необходимо увеличить размер популяции. Было замечено, что при уменьшении вероятности кроссинговера ниже 0.6 и уменьшении количества хромосом ниже 400 результат ухудшался. В целом, использование генетического алгоритма показало высокую эффективность при поиске решения. При разработке компьютерной подсистемы были использованы современные системы управления базами данных и язык программирования C#.

Выводы

Проанализировав аналогичные зарубежные системы, а также методы оптимизации и математического моделирования, которые позволяют решать поставленную задачу, доказана необходимость разработки компьютеризированной подсистемы планирования загрузки мельниц,

Таблица 1. Месячное планирование производства цемента

Марка цемента	Общая вместимость	Замер силоса	В силосе	Заказано	Произвести
ШПЦ-400	2 255	12,5	980	6000	6500
ССШПЦ-300	2 255	12,0	1031	3000	3500
ССШПЦ-400-Д60	2 255	13,0	929	3000	3500
ПЦ II/A-III-500	2 550	17,5	765	3000	3500
ПЦ II/A-III-500 Д0	2 550	12,5	1275	9000	9300
500-Д0-Н	2 550	20,0	510	9000	9000
ПЦII/Б-III-400	2 550	15,5	969	1000	1300
ССПЦ500-Д20	2 550	9,5	1581	6000	6300
ПЦ II/A-III-400	2 550	17,5	765	6000	6400
ССПЦ -400 Д20	2 550	20,0	510	4500	4500
500-Д0	2550	20,0	510	5000	5100
ССПЦ-400Д0	2550	20,0	510	1000	1100
Итого	63 940		26608	60000	63100

Месячный график работы мельницы №1

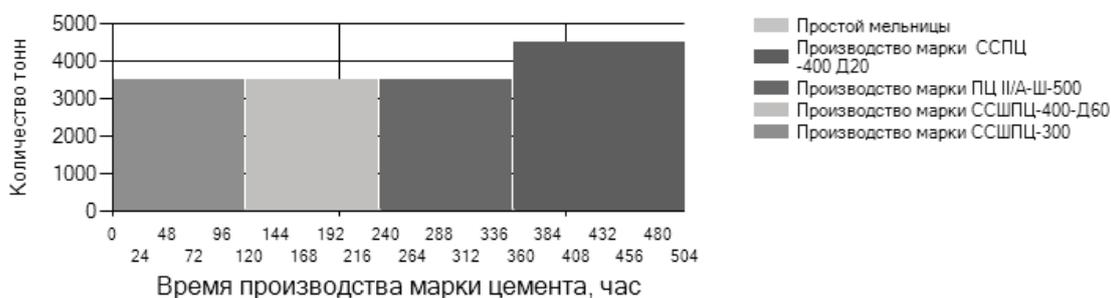


Рисунок 1. План производства цемента на месяц на мельнице №4

Мельница	Количество марок цемента	Количество произведенных тонн	Количество переключений	Затраты
1	4	14000	3	3000
2	4	15000	3	3000
3	5	15000	4	4500
4	3	14000	2	1500

Рисунок 2. Результаты работы программы

которую можно будет внедрить на предприятии для уменьшения затрат.

При решении поставленной задачи использовался генетический алгоритм. Параметры генетического алгоритма были установлены после экспериментов на различных тестовых наборах. Применение генетического алгоритма позволило существенно улучшить систему оперативного планирования, тем самым сократив время получения оптимальных или приемлемых производственных расписаний. Также при появлении случайных событий, влияющих на процесс производства, позволит быстро реагировать на изменение и внесение корректив в исходные данные.

Таким образом, для развития системы планирования на предприятии был разработан алгоритм, позволяющий строить оптимальные производственные планы, используя инструменты эволюционных методов.

Литература

- [1] Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг(ІУСіКМ"2011)/ Збірка матеріалів II всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених - 11-13 квітня 2011 р., Донецьк, ДонНТУ - 2011, с. 54-59
- [2] МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов [Текст] / Дж.МакКоннелл – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.