

УДК 004.89:666.94

**В.А. Светличная (канд. техн. наук, доц.), В.А. Гришковец (магистр),
Н.В. Червинская (канд. техн. наук)**

Донецкий национальный технический университет
кафедра автоматизированных систем управления

E-mail: nashenka@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНА ЗАГРУЗКИ ЦЕМЕНТНЫХ МЕЛЬНИЦ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

В статье рассматривается задача сокращения экономических потерь при производстве цемента за счет сокращения количества переключения мельниц помола. Произведена формализация задачи планирования загрузки мельниц. Для поиска оптимального плана предложен, разработан и реализован генетический алгоритм. Представлены результаты решения задачи.

Ключевые слова: производство цемента, мельница, марка, переключение, план, генетический алгоритм, фитнес-функция, ограничения.

Общая постановка проблемы

Производство строительных материалов относится к числу тех отраслей, которые в совокупности определяют экономический уровень развития страны. Особенностью цементной промышленности, входящей в состав промышленности строительных материалов, является непрерывный процесс получения однородного продукта в больших количествах.

Большую роль в обеспечении выполнения договорных обязательств по поставкам готовой продукции играет оперативное планирование производства, так как именно на этом этапе решается вопрос о ежедневном выпуске продукции в ассортименте, соответствующем принятым к исполнению заявкам-рапортам и заключенным договорам с клиентами. 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. В решении такой задачи важное значение имеет разработка планов выпуска цемента, которые обеспечивали бы необходимое количество продукции с соблюдением установленных сроков. Следовательно, проблема совершенствования системы управления и ее главного звена — планирования для цементной промышленности является актуальной.

Оперативное планирование в цементной промышленности призвано обеспечить рациональную загрузку оборудования, непрерывность производственного процесса, систематическое выполнение заданий договорных обязательств по поставкам продукции на основе равномерной, ритмичной работы всех подразделений предприятия.

В настоящее время на большинстве цементных заводов оперативное планирование выпуска цемента в ассортиментном разрезе с указанием конкретной загрузки цементных мельниц осуществляется заводской лабораторией. Исследования на предприятии показывают, что в условиях, когда выпуск и ассортимент продукции постоянно возрастают, когда перед предприятием ставится задача выполнения договорных обязательств по поставкам продукции, подобная практика планирования не соответствует требованиям экономики [2].

Постановка задачи исследования

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. Особенностью цементного производства является то, что при переходе от производства одной марки цемента к производству другой необходимо произвести перенастройку мельниц. Следует особо отметить, что время переключения одной мельницы занимает достаточно большую часть в общем времени работы производственного комплекса. Это ведет к экономическим потерям, которые определены простым самих мельниц, энергетическими и трудовыми затратами, более быстрым износом определенных частей технологического оборудования. Сокращение количества перенастроек мельниц позволит значительно сократить указанные потери, а соответственно увеличить доход от производства.

Несмотря на то, что непосредственным продолжением технико-экономического планирования в годовом внутриводском планировании является разработка оперативных планов, ни одна из действующих в цементной промышленности АСУП в настоящее время не решает задач по составлению оперативных плановых заданий по выпуску цемента заданного ассортимента, хотя этот класс задач относится к наиболее трудоемким во внутриводском планировании. Трудность построения оперативного плана заключается не только в выборе оптимального варианта использования имеющихся ресурсов для своевременного и качественного выполнения производственных заданий, но и в необходимости оперативной корректировки плановых заданий в соответствии с изменившейся производственной ситуацией и получением новых вариантов оперативных планов. Это также определяет направление исследований в целях совершенствования плановой работы на цементных предприятиях.

Решение задачи и результаты исследований

Каждая мельница может производить одновременно только одну марку цемента. Для смены производства марки необходимо переключить и настроить мельницу. Количество цемента, которое произведено сверх плана, сохраняется в силосах. Количество тонн, которое разрешается произвести сверх количества заказанного цемента, устанавливают эксперты отдела прогнозирования. Эта оценка экспертов учитывается при составлении плана на месяц. Планирование расписания загрузки мельниц происходит в конце месяца.

Исходными данными для решения задачи планирования работы мельниц помола служит информация из базы данных, а именно:

1. Массив клиентов $C = (1..n)$ и их статус $R_j = (0;1)$;
2. Массив цен на каждую марку цемента $PR_i = [600;900]$ грн. за тонну цемента. Цены на цемент устанавливают специалисты отдела продаж. Эти цены сохраняются в базе данных.
3. Номера марок $M_k=[1;12]$, их наименования.
4. Типы марок $TipM=[1;3]$, которые определяют производительность каждой марки $Proizv = [20;30]$ тонн/час.
5. Массив загруженности силосов в тоннах $S_1 = (0..2550)$;
6. Массивы заказов клиентов:
 - количество тонн цемента, которое необходимо произвести;
 - время, через которое необходимо произвести отгрузку готовой продукции.
7. Константы, которые участвуют при расчете затрат, а также при планировании загрузки мельниц:
 - стоимость электроэнергии кВт/час;
 - стоимость замены редуктора;

- время простоя при переключении мельницы;
- вместимость силосов;
- количество часов, которое мельница работает в сутках, учитывая технологические особенности мельницы.

Таким образом, суть задачи состоит в том, что при заданном целевом плане необходимо распределить ресурсы (цементные мельницы и производимые марки цемента) производственной системы так, чтобы не было отклонений текущего плана от целевого, а также свести переключения мельниц до минимума. Решение задачи построения расписаний работы цементных мельниц, основано на использовании генетического алгоритма [1].

Процедуру разработки расписания можно представить в виде следующего алгоритма:

Шаг 1. Инициализация начальной популяции особей. Создание начальной популяции является очень важным и одним из определяющих факторов генетического алгоритма [3]. При выборе кодирования, рассматривались несколько вариантов:

1. Кодирование номера марки и номера мельницы, на котором будет сделана эта марка, при котором предполагалось, что каждая хромосома является m -мерным вектором, который состоит из целых чисел от 1 до n . Целое число, которое стоит на j -ом месте, означает номер марки, которую необходимо сделать.

2. Использование в качестве исходных данных следующих величин: количество, производимого цемента заданной марки за заданный промежуток времени (например, час), время работы мельниц, сроки выполнения заказа, время простоя.

3. Разбиение заказанного количества цемента на 10 частей для гибкости манипулирования генами в хромосоме. Каждый ген содержит количество тонн цемента (или времени, необходимого для производства этого количества тонн цемента), которое необходимо произвести.

4. Кодировка с представлением заказа в виде гена с собственным порядковым номером. Модификацией этого представления является представление в виде структуры, в которой на каждой мельнице грузятся определенные заказы и кроссинговер происходит внутри структуры, внутри мельницы.

В результате исследований возможных вариантов кодирования хромосом был выбран такой вариант кодирования хромосомы в генетическом алгоритме, что каждая хромосома представляется последовательностью, состоящей из информации:

- Первый ген — определяет номер соответствующего заказа Z_i ;
- Второй — содержит номер мельницы S_j .

Таким образом, хромосому можем записать упрощенно. Вид хромосомы представлен формулой (1):

$$(Z_1S_1) (Z_2S_2) (Z_3S_3) (Z_4S_4) \dots (Z_nS_n) \quad (1)$$

Каждая последовательность генов образуется из операций, которые могут быть помещены в расписание. Поскольку последовательность операций, соответствующих генам хромосомы, должна придерживаться заданной очередности выполнения заказов, начальная популяция генерируется случайным образом только из множества допустимых вариантов, которые могут быть выполнены в расписании [4].

Шаг 2. Оценка приспособленности особей популяции.

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:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m (tn_i * (Sn + Sэ) + Sp) + K * R_q * Su_l \quad (2)$$

где: Z — общая сумма экономических потерь;

Sn — сумма затрат при простое мельницы, равном одному часу;

$Sэ$ — сумма затрат на электроэнергию;

Sp — стоимость износа редуктора при одном переключении мельницы;

Su_l — стоимость 1 тонны цемента l -й марки;

K — количество тонн, которые не успели произвести q -му клиенту в установленные сроки;

R_q — статус клиента.

Минимизацию временных затрат на переключение мельниц можно представить с помощью формулы (3).

$$t_n = \sum_{i=1}^m tn_i \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$tn_i = \sum_{j=1}^{n_i} \tau_{ij},$$

где: τ_{ij} — время переключения i -й мельницы j -й раз;

tn — общее время переключений мельниц.

Учитывая то, что время переключения одной мельницы имеет сравнительно небольшой разброс, его можно считать условно постоянным. Тогда минимизацию затрат на переключение можно трактовать как минимизацию количества переключений.

Были введены несколько ограничений:

- Ограничения по объемам производства цемента:

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

где V_{nli} — плановый объем производства цемента i -й марки;

V_{phi} — фактический объем производства цемента i -й марки.

Причем:

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

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

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

где T_{nli} — плановое время производства i -й марки цемента;

T_{phi} — фактическое время производства i -й марки цемента.

Ограничение (5) гарантирует производство количества тонн цемента, которые необходимо произвести согласно плану. Ограничение (6) гарантирует производство цемента в установленные сроки. Превышение срока влечет за собой потери для предприятия.

В результате выполненной оценки особей выбирается лучшая хромосома.

Шаг 3. Селекция особей для скрещивания, которая осуществляет отбор хромосом для дальнейшей их репродукции в соответствии со значениями их функции приспособленности. Селекция генов выполняется турнирным методом (tournament selection) [5].

Шаг 4. Формирование генотипа потомков с помощью оператора скрещивания РРХ (англ. — precedence preservative crossover) — так называемого оператора скрещивания для представления мутации с повторениями [5].

Шаг 5. Мутация с вероятностью P_m , основанная на методе «order-based mutation». Оператор мутации в данной работе специально был модифицирован так, чтобы мог сохранять заданные ограничения очередности в выполнении операций.

Шаг 6. Проверка хромосом и в некоторых случаях их исправление, что связано с обязательным соблюдением заданной очередности выполнения заказов. Отбор особи и замена ее потомком. Затем необходимо обновить текущую популяцию, вставляя в нее наилучшую хромосому.

Шаг 7. Оценка приспособленности потомства, после чего обновляется средняя приспособленность по популяции и вычисляется вектор приспособленности особей. Переход к шагу 3.

Данный алгоритм был реализован программно на языке С#.

В процессе тестирования предлагаемого алгоритма построения расписания загрузки цементных мельниц, выполнена серия исследований. Исследования выполнялись при следующих параметрах:

- Размерность популяции — 100;
 - В каждом процессе эволюции рассматривается 1000 поколений;
 - Вероятность мутации и скрещивания подбирались экспериментально;
- Каждый процесс повторялся 10 раз и рассчитывался средний результат.

Полученный результат представляется в виде графиков и таблиц с итоговым наилучшим вариантом расписания. Пример полученного графика приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 — Месячный график работы мельницы

Выводы

1. Разработан модифицированный генетический алгоритм, который используется для поиска оптимального решения загрузки цементных мельниц. В результате исследований определены оптимальные параметры генетического алгоритма.

2. Разработанный генетический алгоритм используется в подсистеме планирования загрузки цементных мельниц, которая позволяет строить оптимальные производственные планы с учетом ограничений по объемам и срокам производства.

Список использованной литературы

1. Кричевский М.Л. Интеллектуальные методы в менеджменте / М.Л. Кричевский. — СПб.: Питер, 2005. — 304 с.
2. Гришковец В.А. Планирование загрузки цементных мельниц на основе портфеля заказов / В. А. Гришковец, В. А. Светличная // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ — 2011): II Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 11–13 квітня 2011 р.: зб. доп. у 2 т. / Донецький національний технічний університет. — Донецьк: ДонНТУ, 2011. — Т.1. — С. 60–64.
3. Syswerda G. The Application of Genetic Algorithms to Resource Scheduling / G. Syswerda // In proceedings from the 4th International Conference on Genetic Algorithms / G. Syswerda. — San Mateo: Morgan Kaufmann, 1990. — P. 502–508.
4. Devis E.W. An algorithm for optimal project scheduling under multiple resource constraints / E.W. Devis, G.E. Heidorn // Management Science. — INFORMS. — 1971. — Vol. 17, No 12. — P. 803–817.
5. Bierwirth C. A generalized permutation approach to job shop scheduling with genetic algorithms / C. Bierwirth // OR Spektrum. Springer-Verlag. — 1995. — Vol. 17, Numbers 2–3. — P. 87–92.

Надійшла до редакції:
01.02.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Чичикало Н.І.

V.A. Svetlichnaya, V.A. Grishkovets, N.V. Chervinskaya. Operating plan construction of cement mills loading using genetic algorithms. In the article the problem of economic losses decreasing for cement production is considered at the expense of mill switching quantity reduction. The formalization of mill loading planning problem is performed. The genetic algorithm for optimal plan search is defined, developed and realized. The results of defined problem solution are also presented.

Keywords: cement production, mill, mark, switching, plan, genetic algorithm, fitness-function, restrictions.

В.А. Світлична, В.О. Гришковець, Н.В. Червінська. Побудова оперативного плану завантаження цементних млинів за допомогою генетичних алгоритмів. У статті розглянуто задачу скорочення економічних втрат при виробництві цементу за рахунок скорочення кількості переключень млинів молоття. Виконано формалізацію задачі планування завантаження млинів. Для пошуку оптимального плану запропоновано, розроблено та реалізовано генетичний алгоритм. Представлено результати вирішення поставленої задачі. **Ключові слова: виробництво цементу, млин, марка, переключення, план, генетичний алгоритм, фітнес-функція, обмеження.**

© Светличная В.А., Гришковец В.А., Червинская Н.В., 2012