

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ОБОРУДОВАНИЯ

Васильев Д.А., Шабельникова А.Ю.

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

E-mail: [shabelnikova\\_au@mail.ru](mailto:shabelnikova_au@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрена задача оптимизации графика планово-предупредительного ремонта оборудования с учетом ограничений на используемые ресурсы предприятия. Для решения задачи предлагается применение метода полного перебора и генетического алгоритма. Показаны преимущества генетического алгоритма по сравнению с классическим методом оптимизации, методом полного перебора.

**Ключевые слова:** ремонт оборудования, график ремонта, ресурсы предприятия, генетический алгоритм, классический метод оптимизации, метод полного перебора.

### Постановка задачи

Современное оборудование промышленных предприятий имеет достаточно высокие расчетные показатели надежности. Однако в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов, условий и режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надежность и увеличивается вероятность возникновения отказов. В связи этим, для повышения общей эффективности управления и надежности функционирования предприятий разрабатываются различные системы автоматизации процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта технологического оборудования, процессов материально-технического снабжения и ведения складского хозяйства.

В настоящее время для ведения производственной эксплуатации и поддержки технического состояния оборудования в соответствии с требованиями нормативно-технической документации применяется система планово-предупредительного ремонта (ППР). Однако в ряде случаев эта система не обеспечивает принятия оптимальных решений: не учитывается ряд ограничений при построении графиков ППР, не предусматривается их оптимизация с позиции рационального управления состояниями процесса эксплуатации и более полного расходования ресурса каждой единицы оборудования. Автоматизация системы ППР позволяет решить задачу оптимального распределения множества различных ресурсов предприятия для осуществления выполнения ремонтных циклов оборудования.

В настоящей статье предлагается, используя метод полного перебора и генетический алгоритм, получить наиболее оптимальный состав оборудования, выводимого в ремонт на текущий месяц (год), с учетом ограничений на используемые ресурсы предприятия.

Оценка качества выбора состава оборудования для вывода его в ремонт или техническое обслуживание осуществляется по векторному критерию  $F = (F_1, F_2)$ , составляющие которого определяются выражениями:

$$F_1 = \sum_{j=1}^n C_j b_j \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^n S_j b_j \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $C_j$  - коэффициент, задающий степень сложности ремонта  $j$ -го оборудования, определяющийся видом ремонта (капитальный ремонт, средний ремонт, малый ремонт, техническое обслуживание);  $S_j$  - коэффициент, задающий степень участия  $j$ -го оборудования в технологическом процессе;  $n$  - количество оборудования, включенного в план-график ремонта на текущий месяц (год);  $b_j$  - дискретная переменная, принимающая два значения: 1 - если  $j$ -ое оборудование участвует в ремонте, 0 - в противном случае, т.е.

$$b_j = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}. \quad (3)$$

Для решения задачи по формированию оптимального состава выводимого в ремонт оборудования, применима свертка критериев вида:

$$F = \varphi_1 \cdot F_1 + \varphi_2 \cdot (-F_2) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  – коэффициенты, определяющие значимость критериев  $F_1$  и  $F_2$  соответственно и устанавливающиеся лицом, принимающим решения на этапе формирования и оптимизации план-графика ремонта оборудования.

Оптимизация осуществляется в области допустимых состояний системы с учетом ограничений:

- на материальные ресурсы:

$$\sum_{j=1}^n a_j b_j \leq A, \quad (5)$$

где  $A$  – материальный ресурс, необходимый для проведения всех ремонтных работ, связанный с обеспечением их материалами;  $a_j$  – материальный ресурс, необходимый для проведения ремонтных работ  $j$ -го оборудования;

- на временные ресурсы:

$$\sum_{j=1}^n t_{\text{тп}j} b_j \leq T_{\text{тп}}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{тп}}$  – общее время на технологическую подготовку к ремонтным работам, включающее время на изготовление специального оборудования и приспособлений для ремонтных работ;  $t_{\text{тп}j}$  – время, необходимое на технологическую подготовку к ремонтным работам  $j$ -го оборудования;

- на трудовые ресурсы:

$$\forall i \in [1, M] \sum_{j=1}^n w_j^i b_j \leq W_i, \quad (7)$$

где  $W_i$  – имеющееся количество рабочих для проведения  $i$ -го вида ремонтных работ;  $w_j^i$  – количество рабочих, задействованных в  $i$ -м виде ремонтных работ  $j$ -го оборудования;  $M$  – количество видов ремонтных работ.

### Метод полного перебора

Метод полного перебора [1] позволяет получить оптимальное решение задачи (1) – (7) путем перебора всех возможных вариантов состава оборудования, выводимого в ремонт или на техническое обслуживание.

В результате применения данного метода образуется двоичный код  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ , определяющий оптимальный список оборудования из всего планируемого списка (размерности  $n$ ) на текущий месяц (год).

Для организации перебора используются средства двоичной арифметики, в частности, операция двоичного сложения. Получение нового двоичного кода решения задачи производится прибавлением двоичной единицы к текущему коду  $B$  (к его младшему разряду), учитывая возможность переноса в следующий разряд кода. В этом случае в качестве исходного кода решения выбирается код, у которого один единичный разряд ( $b_1 = 1, \forall i = 2 \dots n \ b_i = 0$ , или  $b_n = 1, \forall i = 1 \dots n-1 \ b_i = 0$ , или  $b_k = 1 (k = \text{rand}(1..n)), \forall i = 1 \dots n \ b_i = 0 (i \neq k)$ ).

Таким образом, последовательное применение операции двоичного сложения позволяет получить все возможные сочетания двоичных разрядов кода решений (все возможные варианты состава оборудования выводимого в ремонт или на техническое обслуживание).

В процессе решения задачи (перебора всевозможных вариантов) производится отбор допустимых решений – кодов, удовлетворяющих ограничениям (5) – (7) и приближающих общее решение задачи к оптимуму (4).

Основным недостатком метода полного перебора является достаточно большая вычислительная стоимость.

Наиболее действенными методами сокращения полного перебора являются так называемые методы искусственного интеллекта.

### **Генетический алгоритм**

В настоящее время одними из наиболее широко применяемых методов искусственного интеллекта, используемых для решения задач оптимизации, являются генетические алгоритмы [2].

Генетические алгоритмы (ГА) представляют собой методы оптимизации, основанные на концепциях естественного отбора и генетики.

ГА работают с совокупностью особей (популяцией), каждая из которых представляет возможное решение задачи. Для решения задачи (1) – (7) каждая особь популяции кодируется одной хромосомой, определяющей состав выводимого в ремонт оборудования. Количество ген, образующих хромосому определяются числом оборудования  $n$ , представленного в план-графике ППР на текущий месяц (год). Каждое оборудование (ген хромосомы) связано с набором параметров ( $C_j, S_j, a_j, t_{гпj}, w_j^i$ ) задачи.

При создании исходной популяции в хромосому особи (списка оборудования, вводимого в ремонт) на место каждого гена генерируется двоичное число, определяющее факт присутствия или отсутствия оборудования в списке. После получения исходной популяции начинается ее развитие и размножение, т.е. движение к оптимуму (4). Для этого применяются процедуры скрещивания и мутации. Процедура скрещивания выполняется для порождения новой особи популяции (потомка), являющейся новым решением задачи. После чего проверяется допустимость полученного решения. Если полученное решение удовлетворяет ограничениям задачи (5) - (7) – потомок выживает (полученное решение является допустимым) и производится сравнение целевой функции потомка, определяемой выражением (4) с целевой функцией наихудшей особи (худшего решения) текущего поколения, в противном случае потомок погибает (полученное решение отбрасывается).

В случае, когда целевая функция потомка меньше целевой функции наихудшей особи, полученный потомок погибает (не приближает к оптимальному решению), иначе выживает и записывается в следующее поколение (поколение потомков), а в текущем поколении родителей уничтожается наихудшая особь (с наименьшей целевой функцией).

Используемая на каждой итерации работы алгоритма процедура мутации, организуется с целью качественного улучшения особей популяции текущего поколения (решений задачи) в соответствии с постановкой задачи.

В результате последовательного применения процедур скрещивания и мутации происходит движение к оптимуму, позволяющее через некоторое количество итераций получить оптимальное или субоптимальное решение за приемлемое время даже при большой размерности задачи.

### **Анализ результатов**

Метод полного перебора, как метод критичный ко времени и используемый только при небольших размерностях, нецелесообразно применять для решения практических задач, в частности, для решения задачи оптимизации графика планово-предупредительного ремонта оборудования. Поэтому в работе он использовался для качественной оценки решений поставленной задачи, полученных с помощью генетического алгоритма.

Анализ результатов работы генетического алгоритма показал, что он позволяет получить оптимальные или субоптимальные решения за приемлемое время даже при больших размерностях задачи. Это позволяет рекомендовать данный алгоритм к использованию в системах автоматизации ППР оборудования промышленных предприятий с целью повышения качества их работы.

### **Литература**

1. Бейко И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. М.: Высшая школа, 1983. – С.512.
2. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. Харьков: Основа, 1997. – С.112.