

# ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА ПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Фонотов А.М., Папко Т.А., Сухоруков Д.В.

Донецкий национальный технический университет кафедры автоматизированных систем управления,

E-mail: stas@nedra.dn.ua, papko\_t\_a@mail.ru, suhoruckov@mail.ru

## *Abstract*

*Fonotov A.M., Papko T.A., Suhoruckov D.V. Optimization of the repair service in metallurgy by using the genetic algorithm. A program complex for increasing the operating efficiency of the rolling shop equipment by minimizing the total downtime and optimizing the usage of resources are developed. It includes the optimization module and the calculation performance criterion model. The conducted experimental researches showed efficiency to the optimization of scheduling repairs.*

**Общая постановка проблемы оптимизации календарного плана работы ремонтной службы металлургического предприятия.** Важной особенностью технологического процесса металлургического предприятия является его непрерывный характер. Из-за непрерывности производства ремонт одной единицы рабочего оборудования непрерывно-заготовочного или сортового стана может стать причиной полной остановки производства и простоя всего оборудования стана, что приведет к значительной потере прибыли [1, 2].

Планирование ремонтов осуществляется согласно нормативам, по которым та или иная ремонтная операция (РО) выполняется через определенное число часов, отработанных оборудованием. Допускается варьирование момента начала ремонта в некоторых небольших интервалах времени. Кроме того, для многих видов РО возможно варьирование таких взаимосвязанных параметров, как необходимое количество рабочей силы и длительность выполнения РО.

Составление эффективных планов РО является оптимизационной задачей большой размерности, что обусловлено длительностью периода планирования, значительным перечнем оборудования, многочисленными вариантами распределения ресурсов. Ремонтная служба представляет собой стохастическую систему, поэтому при решении задачи кроме многочисленных ограничений необходимо учитывать различные прогнозируемые и вероятностные факторы. Таким образом, задача оптимизации плана ремонтных работ является актуальной.

**Постановка задачи оптимизации расписания проведения ремонтов.** Пусть  $n$  – количество видов оборудования;  $m$  – количество видов РО;  $S_{ij}$  – РО  $j$ -того типа на  $i$ -м виде оборудования ( $i=1, \dots, n$ ,  $j=1, \dots, m$ );  $k_{ij}$  – количество вариантов «время – ресурсы» для выполнения РО  $S_{ij}$ ;  $T_{ijr}$  – длительность РО  $S_{ij}$  по  $r$ -тому варианту ( $r=1, \dots, k_{ij}$ );  $R_{ijr}$  – величина ресурсов, необходимых для выполнения РО  $S_{ij}$  за время  $T_{ijr}$ ;  $t_{ij}^{нач}$  – плановое время начала выполнения РО  $S_{ij}$ ;  $\Delta t_{ij}$  – допустимое отклонение начала выполнения РО  $S_{ij}$ .

На основании данных о текущей наработке оборудования, данных о плановом производстве продукции на предстоящий период и нормативным характеристикам каждого вида оборудования составляется начальный план-график ремонтных работ. Он представляет собой последовательность РО  $\bar{S}$ :

$$\bar{S} = (S_1 \quad \dots \quad S_p \quad \dots \quad S_p), \quad (1)$$

где  $P$  – число РО на планируемый период;

каждая операция  $S_p$  задается с помощью следующих параметров:

$i$  – вид оборудования ( $i=1, \dots, n$ );

$j$  – вид РО ( $j=1, \dots, m$ );

$t_{ij}^{нач}$  – плановое время начала выполнения РО;

$\Delta t_{ij}$  – допустимое отклонение начала выполнения РО.

Выполнение каждой РО  $S_{ij}$  характеризуется двумя взаимозависимыми параметрами – временем выполнения операции ( $T_{ij}$ ) и величиной ресурсов ( $R_{ij}$ ). Очевидно, что при увеличении использования ресурсов время выполнения операции уменьшается до достижения предельной величины. Каждая РО характеризуется набором из  $k_{ij}$  пар значений  $T_{ij}$  и  $R_{ij}$ , определяемых по нормативным данным или с помощью экспертной оценки.

При оптимизации календарного графика РО необходимо уточнить сроки начала выполнения каждой РО ( $t_{ij}^{нач}$ ), а также распределить ресурсы ( $T_{ij}^{нач}$  и  $R_{ij}^{нач}$ ) таким образом, чтобы:

1) срок начала выполнения каждой РО входил в заданный период:

$$t_{ij}^{нач} - \Delta t_{ij} \leq t_{ij}^{нач} \leq t_{ij}^{нач} + \Delta t_{ij}; \quad (2)$$

2) величина рабочей силы, занятой выполнением всех РО в каждый момент времени, не превышала допустимого значения:

$$\sum_{p=1}^P R_{pt} \leq R_{кр}, \text{ для всех } t \in [0; T], \quad (3)$$

где  $P$  – количество РО в графике ремонтов;

$t$  – дискретный момент времени выполнения программы ремонтов

$T$  – общее количество дискретных моментов времени в периоде, на который планируются ремонты;

$R_{pt}$  – величина ресурсов, занятых при выполнении  $p$ -й РО в момент времени  $t$ , если данная РО не выполняется в данный момент времени, то  $R_{pt} = 0$ ;

$R_{кр.}$  – граничное значение ресурсов на предприятии (численность рабочих ремонтных бригад).

3) общее время простоя оборудования было минимальным. При этом учитывается возможность выполнения нескольких РО во время одного простоя, т.е.

$$f(\bar{S}) = \sum_{t=0}^T T_t^{перекр.} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $T_t^{перекр.}$  – время ремонта оборудования с учетом перекрытий РО.

**Оптимизация плана проведения РО ремонтной службой металлургического предприятия с использованием генетических алгоритмов.** Учитывая специфику задачи, была выбрана структура хромосомы, представляющая собой матрицу размером  $2 \times n$ . Где  $n$  – число планируемых РО на расчетный интервал времени, а каждая из строк матрицы – варьируемые параметры (рисунок 1):

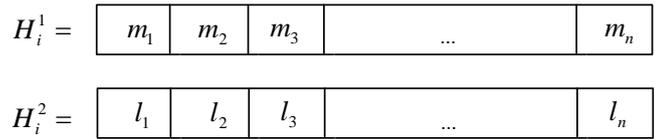


Рисунок 1 - Схема кодирования решения

Здесь,  $H_i^1, H_i^2$  - соответственно хромосомы 1-го и 2-го уровня;  $m_i, l_i$  - двоичные числа, кодирующие величину временного отклонения и величину привлекаемой рабочей силы;  $n$  - размерность строки, характеризующее число возможных ремонтов. При этом разрядность каждого гена определяется максимальной степенью дискретизации для данного значения.

**Генетические операторы.** Разработан проблемно-ориентированный оператор кроссинговера:

- 1) из всей популяции выбирается пара хромосом – родителей;
- 2) для выбранных родителей случайным образом определяется точка кроссинговера  $k_1 \in [1, N-1-L_{блока}]$ , где  $N$  - длина хромосомы;
- 3) последовательно для каждого гена определяется точки  $k_2^i$  таким образом, чтобы  $k_2^i \in [1, M]$ , где  $M$  – длина  $i$ -го гена;
- 4) производится поэлементный обмен генами между двумя родителями в пределах  $[1, k_1]$ , при этом так же производится обмен внутри каждого гена в пределах  $[1, k_2^i]$ .

Схема поэлементного формирования хромосом – потомков приведена на рисунке 2.

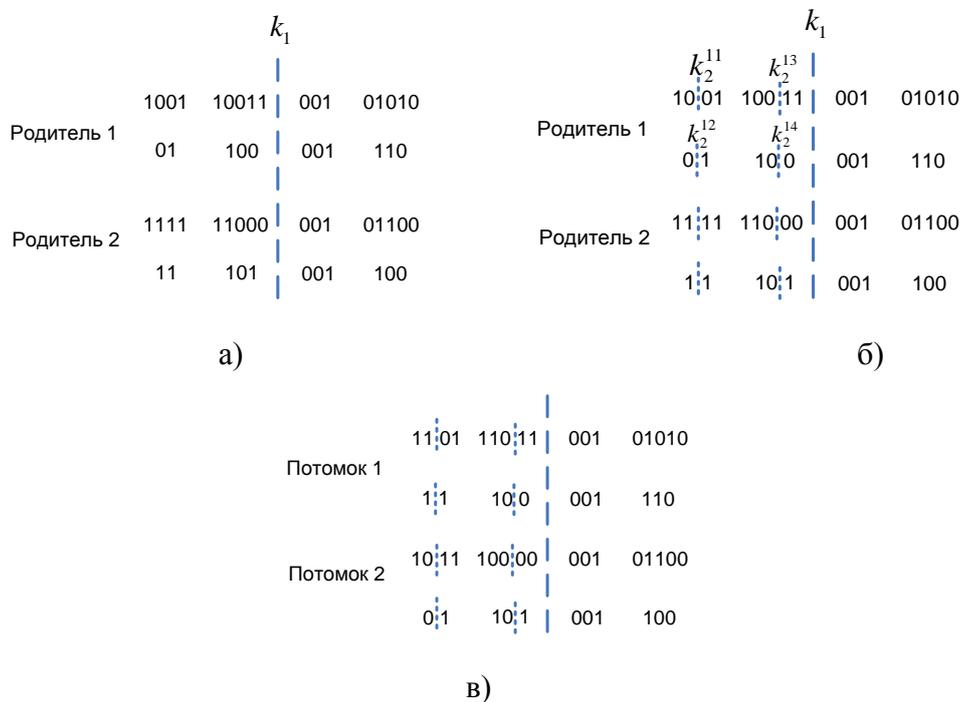


Рисунок 2 – Поэлементное формирование хромосом потомков

В качестве оператора мутации используется оператор инверсии  $i$ -го бита.

**Целевая функция.** В качестве целевой (fitness) функции в обобщенном генетическом алгоритме может выступать критерий эффективности (4).

Для построения расписания проведения ремонтов в цеху металлургического предприятия и для его оценки (вычисления критерия оптимизации) авторами была разработана объектная модель. Использование принципов объектно-ориентированного подхода позволило создать динамическую модель для металлургических цехов с различным составом оборудования. Алгоритм работы модели приведен на рисунке 3.

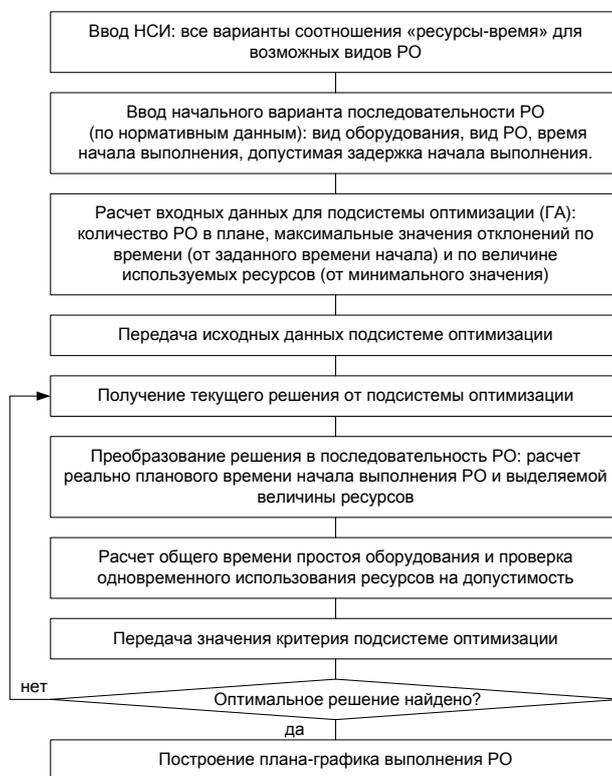


Рисунок 3 – Алгоритм работы модели

Входные данные подсистемы представляют собой НСИ, а также ориентировочный план проведения РО, полученный службой учета наработки оборудования и прогнозирования возможных отказов.

Предварительный план РО преобразуется к виду хромосомы – входным данным подсистемы оптимизации. Данная подсистема на основе генетического алгоритма находит оптимальное размещение запланированных РО, а также определяет оптимальное количество ресурсов, необходимых для выполнения каждой из них.

На каждом этапе решения задачи оптимизации производится расчет целевой функции. Для этого каждая хромосома вновь преобразуется к виду, позволяющему уточнить план проведения ремонтных операций. С помощью полученных параметров плана и НСИ по каждому виду ремонтных воздействий выполняется расчет общего критерия оптимизации.

После определения оптимальных параметров плана, последовательность ремонтных операций преобразуется к виду графика проведения ремонтов для цеха предприятия, удобного для выполнения.

**Экспериментальные исследования.** Для реализации и исследования генетического алгоритма использовалась модификация модуля генетических алгоритмов (МГА) [3]. Его особенностью является возможность использования различных типов ГА (стандартный,

адаптивный), генетических операторов, эволюционных стратегий, произвольную структуру хромосом.

Для анализа работы алгоритма был произведен расчет на тестовой последовательности ремонтных операций. План выполнения ремонтов оборудования цеха металлургического завода рассчитывался на месяц с шагом дискретизации в один час. Ограничение на рабочую силу – 20 человек. В таблице 1 приведен фрагмент входных и расчетных данных.

Таблица 1 – Фрагмент исходного и оптимизированного планов ремонтов

№	Ремонтная операция	Исходные данные				Результат решения			
		Дата начала/окончания	Номер интервала, ч	Продолжительность, ч	Ресурсы, чел.	Дата начала/окончания	Номер интервала, ч	Продолжительность, ч	Ресурсы, чел.
1	Многониточная правильная машина(ремонт)	01.01.2008 8:00	8	4	10	01.01.2008 16:00	16	5	6
		01.01.2008 12:00	12			01.01.2008 21:00	21		
2	Градирня (ремонт)	01.01.2008 15:00	15	5	13	01.01.2008 16:00	16	5	13
		01.01.2008 20:00	20			01.01.2008 21:00	21		
3	Электромостовой кран №2 (осмотр)	02.01.2008 16:00	40	2	5	03.01.2008 8:00	56	3	4
		02.01.2008 18:00	42			03.01.2008 11:00	59		
4	Шестеренная клеть 900(ремонт)	02.01.2008 20:00	44	8	8	03.01.2008 8:00	56	8	8
		03.01.2008 4:00	52			03.01.2008 16:00	64		
5	Электропривод Клетей №587567(осмотр)	03.01.2008 0:00	48	4	2	03.01.2008 11:00	59	4	2
		03.01.2008 4:00	52			03.01.2008 15:00	63		

Начальный план ремонтов удовлетворял ограничению на рабочую силу, однако общее время простоя оборудования составляло 301 час в месяц, что составляет почти 42% общего фонда рабочего времени. Для первой декады исходный план требовал простоя оборудования длиной в 93 часа (38,75% рабочего времени). Исходный план-график ремонтов на первую декаду месяца приведен на рисунке 4.

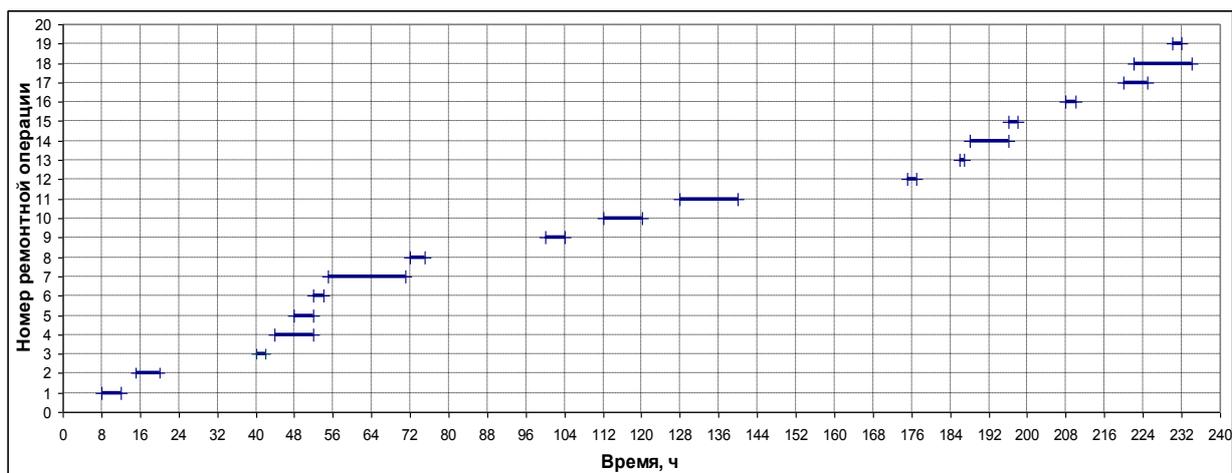


Рисунок 4 – Исходный план ремонтов на первую декаду января 2008 года

Для проведения эксперимента использовались следующие значения параметров: вероятность мутации составляла 10%, вероятность скрещивания 95%, число особей

генерируемых случайно 5%, размер популяции составлял 150 особей, число элитных особей равнялось 5. В качестве метода усечения популяции использовался комбинированный метод (выбор метода усечения популяции производился случайным образом среди двух – «удаление наихудших» и выбор худших особей с помощью рулетки).

В результате оптимизации плана ремонтов общее время простоя оборудования удалось сократить до 83 часов в месяц, что не превышает 11,53% фонда рабочего времени. Время простоя в первую декаду месяца сократилось до 35 часов. При этом выполнение двух ремонтных операций было перенесено на вторую декаду, что согласуется с нормативами на ремонты по наработке оборудования для этих ремонтных операций. Полученный план-график ремонтов приведен на рисунке 5.

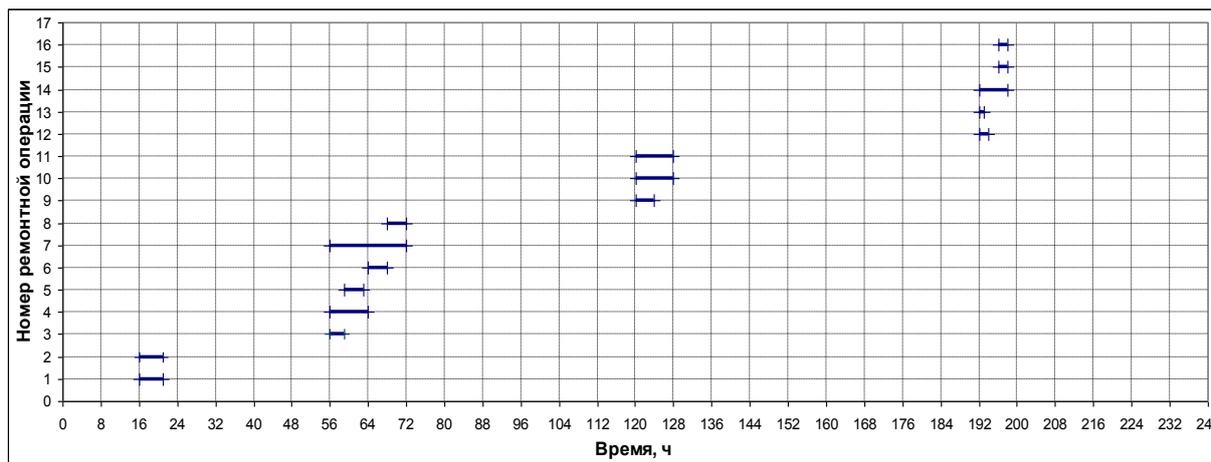


Рисунок 5 – Оптимизированный план ремонтов на первую декаду января 2008 года

Рисунки 4 и 5 иллюстрируют, как оптимальное расположение ремонтных операций и распределение ресурсов между операциями, выполняющимися одновременно, позволяет уменьшить общее время простоя стана металлургического предприятия.

Использование разработанной системы оптимизации позволило снизить общее время простоя на 218 часов в месяц, что превышает 30% общего месячного фонда рабочего времени.

#### Литература:

1. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справочник. - М.:Металлургия, 89. – 592 с.
2. Ремонт без проблем. Автоматизированные системы технического обслуживания и ремонтов, Александр Якименко // ММ Деньги и Технологии, - 2004, - Апрель (№4), - с. 58
3. Сухоруков Д.В. Построение модуля оптимизации производственно технологических систем в машиностроении на базе генетических алгоритмов // Сборник трудов международной научной конференции CCSQM'2007. Серия: Интеллектуальные методы и моделирование. Старый Оскол: 2007, с. 116-121.