

УДК 519.138

Е.С. ЯШИНА, И.А. МИКОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Представленная статья посвящена построению расписаний планово-предупредительных ремонтов производственного оборудования. Сократить сроки планово-предупредительного ремонта оборудования предприятий предлагается, путём автоматизации формирования расписаний. Разработана математическая модель для решения задачи теории расписаний планово-предупредительных ремонтов. В качестве критерия оптимальности расписания использован коэффициент готовности оборудования. Используется метод имитации отжига для решения задачи формирования расписания.

Ключевые слова: *расписания, планово-предупредительный ремонт, стохастические методы оптимизации, коэффициент готовности, метод имитации отжига, информационные системы.*

Введение

Качество проведения технического обслуживания производственного оборудования на предприятии зависит от уровня организации планово-предупредительных ремонтов (ППР). Планово-предупредительные ремонты производственного оборудования представляют собой комплекс работ, направленных на поддержание и восстановление работоспособности оборудования. ППР включает в себя межремонтное обслуживание, текущий, средний и капитальный ремонт [1].

Расписание технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) регламентирует трудовой ритм работников отдела главного механика, ремонтно-механического и ремонтно-строительного цехов, а на небольших предприятиях - и работников энергетического хозяйства, поэтому его можно рассматривать как фактор оптимизации использования ограниченных трудовых ресурсов – ремонтных бригад [2]. Поскольку интересы участников ТОиР оборудования предприятия многообразны, задача составления расписания - многокритериальная.

Экономический эффект от использования трудовых ресурсов может быть достигнут только в результате кропотливой работы по управлению работниками ремонтных бригад [3]. Расписание является лишь инструментом такого управления. Для наиболее полного использования трудовых ресурсов необходимо, не только иметь возможность составлять расписания, но и поддерживать их оптимальность в случае изменения некоторых входных данных, которые на момент составления расписания считались постоянными. Кроме этого оптимальное управление техническим обслуживанием оборудования невозможно без накопления

статистической информации о процессах, происходящих в системе. Поэтому сама задача составления оптимального расписания является лишь частью сложной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на предприятии [4].

Задачи теории расписаний (ТР) в общей постановке считаются весьма привлекательными, хотя достижение даже небольшого прогресса на пути к их решению связано, как правило, с огромными трудностями. Для определения оптимальных очередностей работ для каждой ремонтной бригады используется ряд методов линейного программирования, дискретного программирования, методы ветвей и границ, сетевого планирования и управления. Чтобы задача теории расписаний была решена, необходимо максимизировать стоимость работ, или минимизировать время простоев оборудования. Сократить сроки планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания оборудования предприятий предлагается путём автоматизации формирования расписаний [5].

Многокритериальность задачи упорядочивания множества работ и сложность объекта, для которого строится математическая модель, обуславливает необходимость серьезного математического исследования объекта [6]. Не зависимо от выбора алгоритма задачи, ее решение является трудоемким за счет большого числа входных данных и переменных, и поэтому, целесообразно не обобщать модель задачи распределения, а рассматривать и искать частные решения для каждой конкретной системы.

Поэтому задача составления эффективных планов ППР является актуальной и требует дальнейших научно-технических исследований [4].

1. Постановка задачі складання розписання технічного обслуговування виробничого обладнання підприємства

Задача складає в тому, що з допомогою деякого множини ресурсів або обслуговуваних пристроїв повинна бути виконана деяка фіксована система завдань. Необхідно при заданих властивостях завдань і ресурсів і наложених на них обмеженнях знайти ефективний алгоритм упорядкування завдань, оптимізуючих або намагаючись оптимізувати задану міру ефективності. В якості міри ефективності будемо використовувати коефіцієнт готовності обладнання.

Як відомо, загальна ТР передбачає, що всі обслуговувані пристрої не можуть виконувати в даний момент часу більше одного завдання, що для розписання ППР не є достаточним, якщо в якості пристрою при розподілі завдань прийняти бригаду робітників. Тому при використанні загальної теорії розписання для складання розписання технічного обслуговування виробничого обладнання підприємства необхідно задати наступні допущення:

- кожна бригада в певний момент часу може обслуговувати тільки одну одиницю обладнання;
- в якості множини завдань для розподілу виступають ремонтні роботи певної бригадою певної одиниці обладнання;
- всі завдання виконуються за різний час, тому процес технічного обслуговування необхідно спланувати з мінімальними простоями обладнання, і з повною зайнятістю робітників бригад;
- завдання мають належність до об'єктів, в якості яких виступають конкретні одиниці обладнання підприємства.

Остаточною постановкою задачі складання розписання технічного обслуговування обладнання підприємства можна сформулювати наступним чином: для заданого набору одиниць обладнання підприємства і планованих часових інтервалів (т.е. часу ремонтних робіт на кожній з одиниць виробничого обладнання) необхідно побудувати таке розподілення ремонтних робіт для всіх ремонтних бригад, для якого заданий критерій ефективності приймає найкраще значення при дотриманні вказаних обмежень. На початковому етапі складання були зроблені деякі допущення:

- терміни ремонтних робіт суворо обмежені;
- список робіт повинен бути складений для кожної бригади;
- одне обладнання може обслуговуватися тільки однією бригадою в певний момент часу.

Процес функціонування обладнання можна представити як послідовність чергуючихся інтервалів работоспособности $t_1...t_n$ і відновлення (простоя) $\tau_1... \tau_n$ (рис. 1).

Як відомо, коефіцієнт готовності - це ймовірність того, що обладнання опиниться в работоспособном стані в довільний момент часу, крім планованих періодів, в течение яких застосування обладнання по призначенню не передбачається [3]. Цей показник одночасно оцінює властивості работоспособности і ремонтпригодности обладнання. Для однієї ремонтуваної одиниці обладнання коефіцієнт готовності:

$$K_r = \sum_{i=1}^n t_i / \left(\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i \right), \quad (1)$$

$$0 \leq K_r \leq 1. \quad (2)$$

З виразу (1) видно, що коефіцієнт готовності обладнання може бути підвищений за рахунок збільшення наработки на відмову або зменшення середнього часу відновлення.

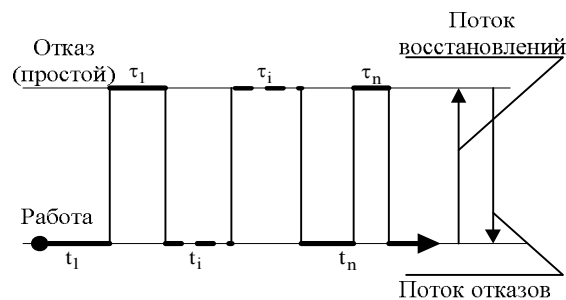


Рис. 1. Графік функціонування відновлюваного об'єкта

2. Розробка математичної моделі для складання розписання технічного обслуговування обладнання

Сформулюємо задачу складання розписання в термінах лінійного цілочисленого програмування.

Нехай маємо систему з n робіт і m одиниць обладнання.

Кожна робота складається з g_i операцій. Кожній операції приписано три індекси:

i - номер роботи, що містить цю операцію;

j - номер операції всередині роботи, $j = 1, \dots, g_i$;

k - номер ремонтної бригади, яка повинна виконати операцію.

В задачах ТР ряд умов повинні виконуватися альтернативно: або i -я робота запускається раніше j -ї, або навпаки.

Обмеження на час і порядок виконання операцій бригадами наступні:

- кожна бригада виконує одночасно не більше однієї операції;

- операции выполняются в указанной последовательности;

- никакие две операции, относящиеся к одной работе, не выполняются одновременно.

Для упрощения изложения и обозначений примем, что каждая работа требует одного выполнения каждой из бригад ($g_i = m, i = 1, \dots, n$).

Пусть t_{ik} - длительность выполнения работы i бригадой k ;

$$r_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } j \text{ работы } i \text{ выполняется} \\ & \text{бригадой } k; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

t_{ik} - момент начала выполнения работы i бригадой k (равно началу выполнения соответствующей операции работы i бригадой k).

Группа ограничений 1. Из того, что каждая бригада в один момент времени может выполнять не более одной работы, следует что для каждой пары работ A и B выполняется лишь одно из неравенств:

$$\left. \begin{aligned} t_{Ak} - t_{Bk} \geq t_{Bk} & \text{ - выполнению работы } A \\ & \text{предшествует выполнение работы } B, \\ & \text{или} \\ t_{Bk} - t_{Ak} \geq t_{Ak} & \text{ - выполнению работы } B \\ & \text{предшествует выполнение работы } A. \end{aligned} \right\} (3)$$

Такое ограничение типа «или-или» нельзя описать в рамках обычного линейного программирования и требует введения целочисленных переменных.

Пусть

$$Y_{ABk} = \begin{cases} 1, & \text{если выполнению работы } A \text{ предшествует} \\ & \text{выполнение работы } B \text{ бригадой } k; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Теперь сформулированные выше ограничения типа «или-или» можно записать в виде двух условий, каждое из которых должно быть выполнено:

$$\left(\sum_i \sum_k t_{ik} + t_{Bk} \right) Y_{ABk} + (t_{Ak} - t_{Bk}) \geq t_{Bk}, \quad (4)$$

$$\left(\sum_i \sum_k t_{ik} + t_{Ak} \right) (1 - Y_{ABk}) + (t_{Bk} - t_{Ak}) \geq t_{Ak}, \quad (5)$$

где $\sum_i \sum_k t_{ik}$ - достаточно большое значение, по-

этому выполняется только одно из двух условий: $Y_{ABk} = 0$ или $Y_{ABk} = 1$.

Пусть A предшествует B , то есть $t_{Ak} < t_{Bk}$ и $Y_{ABk} = 1$, тогда (5) в точности совпадает со вторым условием «или-или» в (3), а (4) благодаря большому значению $\sum_i \sum_k t_{ik}$ превращается в избыточное ограничение, не противоречащее всей системе в целом.

Группа ограничений 2. Обеспечивает соблюдение ограничений на порядок выполнения операций.

Заметим, что $\sum_k r_{ijk} t_{ik}$ - момент начала выполнения

операции j работы i . Тогда для всех операций каждой работы, должно иметь место неравенство

$$\sum_k r_{ijk} (t_{ik} + t_{ik}) \leq \sum_k r_{i(j+1)k} t_{ik}. \quad (6)$$

Итак, для задачи с m бригадами и n работами множество переменных и ограничений выглядит следующим образом:

<i>Переменные</i>	<i>Количество переменных</i>
$t_{ik} \geq 0$	$m \cdot n$

$Y_{ABk} = 0$ или 1	$m \cdot n \cdot (n - 1) / 2$
-----------------------	-------------------------------

<i>Ограничения</i>	<i>Количество ограничений</i>
--------------------	-------------------------------

(4)	$m \cdot n \cdot (n - 1) / 2$
-----	-------------------------------

(5)	$m \cdot n \cdot (n - 1) / 2$
-----	-------------------------------

(6)	$n \cdot (m - 1)$
-----	-------------------

Даже для небольших задач получается огромная система неравенств: если количество бригад $m=4$, а количество работ $n=10$, то число переменных будет 220, а ограничений - 290.

Целевые функции могут быть различными. Так минимизация суммарного времени завершения работ равносильна минимизации суммы моментов начала выполнения последних операций всех работ:

$$\min \sum_i \sum_k r_{imk} \cdot t_{ik}.$$

При минимизации максимального времени завершения работ T_{\max} добавляется ограничение вида

$$\sum_k r_{imk} (t_{ik} + t_{ik}) \leq T_{\max}, \quad i = 1, n,$$

где T_{\max} - переменная, которую требуется минимизировать.

Ввиду большой размерности задачи, решение её методом полного перебора невозможно. К наиболее широко используемым приемам сокращения перебора относятся приемы, основанные на методе ветвей и границ или на методе неявного перебора. Но эти приемы состоят в построении «частичных решений», представленных в виде дерева поиска и применении методов построения оценок. При применении методов математического программирования для решения задач теории расписаний неизбежен экспоненциальный рост времени решения задачи при увеличении ее размерности. Одним из способов сокращения перебора, является метод имитации отжига (алгоритм Метрополиса), который позволяет избежать экспоненциальной трудоемкости задачи. При этом он с высокой вероятностью обеспечивает нахождение оптимального решения.

Результатом расчетов должны быть оптимальные план-графики выполнения необходимых ремонтных работ для каждой ремонтной бригады и для каждого элемента оборудования, с привязкой к точным датам ППР.

Заключення

В статті розглянуто рішення задачі формування розписаний планово-предупредительных ремонтных работ производственного оборудования предприятия. Для повышения вероятности того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, предложено сократить сроки планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания оборудования путём автоматизации формирования расписаний.

Построена математическая модель формирования расписания технического обслуживания оборудования предприятия с учетом ограничений, определяющихся спецификой планово-предупредительных работ. В качестве критерия эффективности расписаний использовался коэффициент готовности производственного оборудования.

Сложность и время решения поставленной задачи существенно зависит от объема входной информации. Проанализированы методы решения задач теории расписаний. Для сокращения времени работы алгоритма составления расписания, задачу предлагается решать с помощью метода имитации отжига. Этот метод относится к классу стохастических методов оптимизации, что позволит нам избежать экспоненциальной сложности задачи, и таким

образом сократить время поиска эффективного решения.

Литература

1. Яцура, А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования [Текст] / А.И. Яцура. – М.: Энас, 2008. – 360 с.
2. Шепеленко, Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии [Текст] / Г.И. Шепеленко. – Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2001. – 528 с.
3. Таишыков, О.Л. Эксплуатация и ремонт ядерных паропроизводящих установок АЭС [Текст] / О.Л. Таишыков, А.Г. Кузнецов, О.Н. Арефьев. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 430 с.
4. Теория расписаний и вычислительные машины [Текст]: учеб. / Год ред. Э.Г. Коффмана. – М.: Наука, 1984. – 334 с.
5. Левин, В.И. Структурно-логические методы в теории расписаний [Текст] / В.И. Левин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2006. – 176 с.
6. Костенко, В.А. Алгоритмы оптимизации, опирающиеся на метод проб и ошибок, в совместном проектировании аппаратных и программных средств ВС [Текст] / В.А. Костенко // Труды Всероссийской научной конференции "Высокопроизводительные вычисления и их приложения". – М., 2000. – С. 123 – 127.

Поступила в редакцию 25.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ВИРОБНИЧОГО УСТАТКУВАННЯ

О.С. Яшина, І.А. Мікова

Представлена стаття присвячена побудові розкладів планово-запобіжних ремонтів виробничого устаткування. У роботі проаналізовані технологічні процеси виконання технічного обслуговування і ремонтних робіт. Скоротити терміни планово-запобіжного ремонту устаткування підприємств пропонується, шляхом автоматизації формування розкладів. Розроблена математична модель для вирішення завдання теорії розкладів планово-запобіжних ремонтів. Як критерій оптимальності розкладу використаний коефіцієнт готовності устаткування. Використовується метод імітації відпалу для вирішення завдання формування розкладу.

Ключові слова: розклад, планово-попереджувальний ремонт, стохастичні методи оптимізації, алгоритм імітації відпалу, інформаційні системи.

PLANNING MODEL FOR MAINTENANCE SERVICE AND REPAIR OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT

E.S. Yashina, I.A. Mikova

Presented article is devoted the construction of schedules of preventive-maintenance repairs of production equipment. There are analysed technological processes of implementation of technical service and workovers. Reducing the terms of preventive-maintenance repair of equipment of enterprises is suggested, by automation of forming of time-tables. A mathematical model is developed for the decision of task of theory of curricula of preventive-maintenance repairs. As a criterion of optimality of time-table the coefficient of readiness of equipment is used. The method of imitation of annealing is used for the decision of task of forming of time-table.

Keywords: schedules, scheduled preventive maintenance, stochastic methods of optimization, algorithm of imitation of annealing, information systems.

Яшина Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Микова Ирина Андреевна – магистрант кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.