

А. О. Тен

## Расчет оптимального режима работы технологического оборудования на ЗАО “Nordenia Slavnika”

Научный руководитель: к.т.н. С. А. Амелькин

**Аннотация.** Данная работа описывает алгоритм расчета оптимального режима работы технологического оборудования на предприятии. Рассмотрены условия предельного, недостаточного и оптимального уровня нагрузки на оборудование.

### Введение

В условиях роста масштабов производства, сложности технических систем и разнообразия выполняемых ими функций на предприятиях возникает проблема оценки оптимального функционирования оборудования. Чтобы предотвратить нарушение технологического процесса, уменьшить затраты на восстановление и ремонт оборудования, улучшить качество выпускаемой продукции, а тем самым повысить эффективность производства, необходимо решить задачу об оптимальном режиме эксплуатации технологического оборудования. В качестве критерия оптимальности можно рассматривать прибыль от эксплуатации оборудования и суммарные затраты на эксплуатацию в течение планируемого периода. Проблема экономии и уменьшения потребления сырья, материалов, энергии также должна быть под постоянным контролем.

Задача ресурсосбережения может положительно решаться путем внедрения малоотходной технологии, увеличения выхода полезной продукции на единицу используемого материала, использования сравнительно дешевых видов сырья, повышения качества материалов с помощью первичной обработки, рационализации управления производственными запасами и развития эффективных источников снабжения [1]. Технологические нововведения, в особенности современные формы автоматизации и информационные технологии, оказывают влияние на уровень и динамику эффективности производства. Они вызывают существенные изменения в техническом уровне и

производительности технологического оборудования. На повышение производительности действующего оборудования оказывают влияние надлежащая организация ремонтно-технического обслуживания, оптимальные сроки эксплуатации, обеспечение необходимой пропорциональности в пропускной возможности технологически связанных групп (единиц), четкое планирование загрузки во времени, повышение сменности работы, сокращение внутрисменных затрат рабочего времени [2].

## 1. Постановка задачи

При решении задачи о выборе оптимального режима работы технологического оборудования ставим подзадачу замены вида технологического оборудования. Для решения этой подзадачи используются следующие информационные ресурсы:

- технические данные и характеристики оборудования;
- информация об имеющемся на рынке оборудовании и его технические характеристики;
- прогнозируемые сведения о предстоящих затратах.

Для замены эксплуатируемого технологического оборудования необходимо рассчитать технико-экономические характеристики установленного оборудования, сравнить различные показатели старого и нового оборудования, подсчитать минимально приведенные эксплуатационные затраты и на основе полученных данных выбрать оптимальный вариант заменяемого оборудования.

Сформулируем задачу об оптимальном режиме работы технологического оборудования предприятия как задачу о таком распределении затрат на сырье и материалы, энергию на каждое оборудование  $x_i$ , чтобы общая отдача от работы всех  $N$  единиц оборудования была максимальна при заданной общей нагрузке  $M$ . Обозначим через  $f_{0i}(x_i)$  зависимость отдачи  $i$ -ого вида оборудования от затрат  $x_i$ . Функция отдачи  $f_{0i}(x_i)$  представляет собой ожидаемый уровень производительности  $i$ -ого вида оборудования при наилучшем (оптимальном) выборе режима его работы.

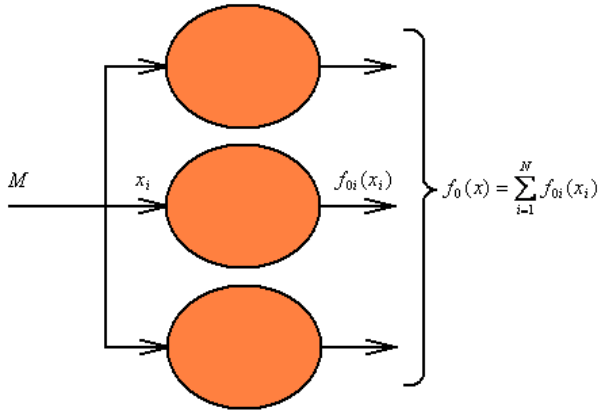


Рис. 1. Структура технологического оборудования предприятия

## 2. Описание алгоритма расчета оптимального режима работы оборудования

Рассмотрим структуру технологического оборудования предприятия (рис. 1).

Формализуем задачу:

$$(1) \quad f_0(x) = \sum_{i=1}^N f_{0i}(x_i)$$

При условиях, наложенных на распределение затрат (нагрузки) по видам оборудования

$$(2) \quad x_i \in [x_i, \bar{x}_i]$$

и на общий объем затрат

$$(3) \quad \sum_{i=1}^N x_i = M$$

Допущения, принимаемые при формализации задачи, сводятся к следующим:

- (1) Состав затрат на единицу оборудования определен и известен для каждого из них минимальный уровень нагрузки  $x_i$ .

- (2) Функции отдачи — выпуклые вверх функции. Это соответствует закону убывающей предельной отдачи, утверждающему, что отдача оборудования на следующую единицу затрат меньше, чем на предыдущую.

Первое из этих допущений гарантирует выпуклость множества допустимых решений, так как условия (2) выделяют на множестве  $R^N$  параллелепипед, а условие (3) — плоскость. Пересечение этих двух выпуклых множеств выпукло. Второе допущение обеспечивает выпуклость критерия  $f_0$ . Следовательно, в такой постановке задача распределения затрат (нагрузки) выпукла, а ее решение может быть найдено с использованием необходимых условий оптимальности. Запишем эти условия.

Функция Лагранжа  $L$  для задачи (1)–(3) имеет вид:

$$(4) \quad L = \sum_{i=1}^N f_{0i}(x_i) - \lambda \sum_{i=1}^N x_i$$

Условия ее локальной неулучшаемости для случая, когда функции отдачи заданы степенными функциями

$$(5) \quad f_{0i} = \alpha_i x_i^\beta, \quad (\beta < 1),$$

приводят к решению

$$(6) \quad x_i^* = \frac{M \alpha_i^{-\frac{1}{\beta-1}}}{\sum_{j=1}^N \alpha_j^{-\frac{1}{\beta-1}}}.$$

Решение задачи оптимального распределения нагрузки с использованием необходимых условий оптимальности существенно упрощается, если заведомо известно, что ни одно из видов оборудования не будет работать на предельных: минимальном или максимальном уровнях. В случае, если часть единиц оборудования работает на минимальном или максимальном уровне, используется алгоритм последовательного назначения предельных значений.

### 3. Описание алгоритма последовательного назначения предельных значений

Для описания работы этого алгоритма введем обозначение: будем называть величины  $x_i^*$  стационарными, если они рассчитаны без учета ограничений (2). Стационарные значения  $x_i^*$  будем обозначать  $x_0^*$ .

**Шаг 1:** Отбрасываем в условиях задачи автономные ограничения (2) и рассчитываем стационарное распределение нагрузки на оборудование  $x_0^*$  ( $i = 1, \dots, N$ ).

**Шаг 2:** Разделяем все оборудование на три группы: в первую  $P_1$  входит оборудование, для которого  $x_i^0 < \bar{x}_i$  (назовем эту группу — оборудование с недостаточным уровнем нагрузки); во вторую  $P_2$  входит оборудование, для которого  $x_i^0 \in [\bar{x}_i, x_i]$ ; в третью  $P_3$  входит оборудование, для которого  $x_i^0 > \bar{x}_i$  (назовем эту группу — оборудование с избыточным уровнем нагрузки).

**Шаг 3:** Рассчитываем суммарный объем дополнительной нагрузки, как сумму разности минимальных объемов затрат и стационарных значений для всего оборудования первой группы:

$$\Delta_1 = \sum_{i \in P_1} (\bar{x}_i - x_i^0)$$

И рассчитываем суммарный объем избыточного уровня нагрузки, как сумму разности стационарных значений и максимальных объемов затрат для всех единиц оборудования третьей группы:

$$\Delta_3 = \sum_{i \in P_3} (x_i^0 - x_i)$$

**Шаг 4:** Возможны четыре случая.

- (1) Если  $\Delta_1 > \Delta_3$ , то всем единицам оборудования с недостаточным уровнем нагрузки назначаем минимальные объемы нагрузки. Находим требуемый для их уровня нагрузки объем затрат:

$$M_1 = \sum_{i \in P_1}^N \bar{x}_i$$

Оставшийся объем  $M - M_1$  делим между всем оборудованием второй и третьей групп. Для этого переходим к Шагу 1.

- (2) Если  $\Delta_3 > \Delta_1$ , то всем единицам оборудования с избыточным уровнем нагрузки назначаем максимальные объемы нагрузки. Находим требуемый для их уровня нагрузки объем затрат:

$$M_3 = \sum_{i \in P_3}^N x_i$$

Оставшийся объем  $M - M_3$  делим между всеми предприятиями первой и второй групп. Для этого переходим к Шагу 1.

- (3) Если  $\Delta_1 = \Delta_3$ , то всем единицам оборудования с недостаточным уровнем нагрузки назначаем объем нагрузки на нижней границе, а единицам оборудования с избыточным уровнем нагрузки — объем нагрузки на верхней границе. Алгоритм заканчивает работу.
- (4) Если  $\Delta_1 = \Delta_3 = 0$ , алгоритм заканчивает работу.

В первом и втором случаях переходим к Шагу 1 с меньшим объемом нагрузки (затрат) и меньшим числом оборудования. Так как после каждого цикла число единиц оборудования, объем затрат для которых не определен, уменьшается хотя бы на единицу, то решение будет получено после конечного числа циклов, не превышающего  $N$ .

#### 4. Итоги применения данной работы

Предприятие ЗАО “Nordenia Slavnik” производит многослойные упаковочные материалы (ламинированные комбинированные материалы с высокими барьерными свойствами). Для выпуска продукции используют оборудование, которое обеспечивает превосходное качество флексографской печати и ламинации. Поверхностная печать производится на флексографском печатном оборудовании планетарного типа, это машины Soloflex 8L, Novoflex, используются бессольвентные ламинаторы Varicoater. Каждый из агрегатов имеет свою, известную функцию отдачи. Таким образом, задача распределения нагрузки является важной для ЗАО “Nordenia Slavnik”. В ходе ее решения получена зависимость затрат для каждого агрегата от величины планируемого выпуска продукции.

## Список литературы

- [1] Лукьянченко А. Н. *Энергоресурсосбережение: опыт небольшого энергоснабжающего предприятия.*: Энергосбережение № 1, 2004. — ISBN 1, с. 86–87.
- [2] Ворст И. И. Экономика фирмы. — М.: Высшая школа, 2006. — ISBN 1. — 341 с.
- [3] Цирлин А. М. Оптимальное управление технологическими процессами. — М.: Энергоиздат, 1986. — 400 с.

УГП, 5Э53

A. O. Ten. *The calculation of optimum mashinary worktime at join-stock company "Nordenia Slavnik"* // Proceedings of Junior research and development conference of Ailamazyan Pereslavl university. — Pereslavl, 2010. — p. 223–229. (*in Russian*).

ABSTRACT. A problem on optimal distribution of intensity for several agregates working in parallel scheme is considered. The problem is solved for join-stock company "Nordenia Slavnik"

*Key Words and Phrases:*