

энергии активации [3, 6]. Тогда количественную характеристику изменения зеренной структуры при тепловом воздействии можно представить в виде уравнения Аррениуса:

$$q = \frac{R}{T} \ln \left(\frac{t}{T} \right) + \frac{E}{RT} \quad (3)$$

где E – энергия активации; t – длительность процесса; T – абсолютная температура; R – газовая постоянная; ϑ и n – постоянные характеризующие скорость протекания структурных изменений.

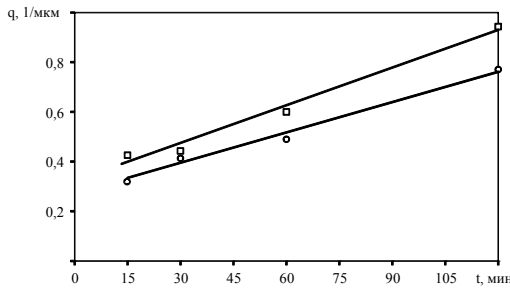


Рисунок 4 – Изменение плотности границ от длительности нагрева при отпуске: а – 500°C, б – 650°C

На рис. 4 приведены изменение плотности границ от длительности и температуры процесса отпуска. Характер временной зависимости показывает, что предэкспоненциальная величина линейно зависит от времени, поэтому можно принять $n = 1$. На основании полученных результатов вычисленная энергия активации составила $E=18128,5$ Дж/моль.

В таблице 2 приведены результаты расчета параметров уравнения Аррениуса, рассчитанные по уширению дифракционной рентгеновской линии ферритной структуры (112), приведенных в [8].

Таблица 2 – Значения параметров уравнения Аррениуса, рассчитанные по данным [8]

Параметры уравнения Аррениуса	Концентрация углерода, %						
	0,11	0,22	0,31	0,38	0,53	0,63	0,91
E , Дж/моль	7210	7968	8255	8887	9661	9982	10499
$\ln A$, мм	0,3996	0,3717	0,3705	0,3394	0,2986	0,2812	0,2647

Энергии активации, рассчитанные по ширине дифракционной рентгеновской линии и изменению удельной длины границ, не значительно отличаются в большую сторону, хотя относятся к величинам одного порядка. Энер-

гия активации, вычисленная по результатам рентгеноструктурного анализа, учитывает только изменения, происходящие в ферритной структуре, поэтому ее численное значение почти в два раза ниже энергии активации, определенной по изменению количественного показателя интерфейса структурного состояния. Изменение удельной длины границы учитывает процессы, происходящие в структурной организации, поэтому эта характеристика структурной организации несет более полную информацию.

Заключение.

Для математического описания кинетики структурных превращений используют различные количественные структурные характеристики, большинство из которых относят к трудно-измеряемым в методическом отношении. С развитием программных продуктов обработки изображений и вычислительной техники металлография становится компьютерной, позволяющей изображения микроструктур представлять в виде набора числовых показателей. При этом сама микроструктура представляется как множество геометрических объектов, каждый из которых отображает определенную структурную компоненту и характеризуется количественно. Интерфейс структурного состояния представляет совокупность количественных показателей, наиболее полно отражающих структурную организацию материала.

Количественные показатели интерфейса структурного состояния, отражающие изменение границ зерен и раздела фаз, можно использовать для описания структурных превращений при термической обработке и пластической деформации. Структурные превращения термического характера, связанные с развитием и миграцией границ зерен и раздела фаз, могут быть количественно оценены суммарной длиной границ или ее удельной величине.

Характер температурного и временного изменения удельной длины границ позволяет описать кинетику разложения мартенсита при отпуске и расчитать энергетические показатели этого процесса.

Список использованных источников: 1. Панин В.Е. Физическая мезомеханика и компьютерное моделирование материалов. Т.1 / под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука, Сиб РАН, 1995. – 298 с. 2. Балахонов Р.Р. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах / Балахонов Р.Р. и др., отв. ред. В.Е. Панин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 520 с. 3. Кристьян Дж. Термодинамика и общая кинетическая теория / Кристьян Дж. Теория превращения в металлах и сплавах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. 810 с. 4. Новиков И.И. Кристаллография и дефекты кристаллического строения / Новиков И.И., Розин К.М. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с. 5. Ким В.А. Количественный структурно-энергетический анализ термообработки конструкционной стали / Ким В.А., Петров В.В. и др. – Металловедение и термообработка металлов. № 4, 2010. – с. 24 – 26. 6. Марвина Л.А. Диффузионные процессы и деградация структуры в металлах / Марвина Л.А., Марвин В.Б. – Владивосток – Благовещенск: Дальнаука – Изд-во АмГУ, 1996. – 276 с. 7. Мерер Х. Диффузия в твердых телах / Мерер Х. Пер с англ. – М.: Издательский дом «Интеллект». 2001. – 536 с. 8. Курдюмов Г.В. Явления закалки и отпуска / Курдюмов Г.В. – М.: Металлургия, 1960. – 64 с. 9. Бернштейн М.Л. Металловедение и термическая обработка стали / Бернштейн М.Л., Рахштад А.Г. – Справ. В 3-х т. Т.П. Основы термической обработки. – М.: Металлургия, 1983. 368 с.

Поступила в редакцию 15.06.2012

УДК 332.144+332.145

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, М.Э. Колесник, Харьков, Украина

МОДЕЛЬ И МЕТОД МАКСИМИЗАЦИИ ПРИБЫЛИ В ПРОЦЕССЕ ОПТИМИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА

У статті розглядається математична модель задачі оптимізації змісту проекту за критерієм прибутку в результаті його здійснення. Створена модель є однокритеріальною, з булевими змінними, з алгоритмічною цільовою функцією і аналітичними обмеженнями. Запропоновано метод розв'язання даної задачі.

В статті розглядається математична модель задачі оптимізації змісту проекту за критерієм прибутку в результаті його здійснення. Розроблена модель є однокритеріальною, динамічною, з булевими змінними, з алгоритмічною цільовою функцією і аналітичними обмеженнями. Предложено метод рішення даної задачі.

In this paper we consider a mathematical model of scope project optimization problems by profits as a result of its implementation. The proposed model is a one-criterion, dynamic, with Boolean variables, with the objective function of the algorithmic and analytical limitations. A method for solving this problem is proposed.

Актуальность. Для решения задачи оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, сроки, стоимость, качество и риски проекта с помощью метода, основанного на применении обобщенного критерия и неявного перебора, необходимо иметь решение однокритериальных задач. В том числе задачи оптимизации содержания проекта по критерию прибыль в результате осуществления проекта. Решение данной задачи во многих случаях может иметь и самостоятельное значение.

Следовательно, возникает актуальная задача создания модели и метода оптимизации содержания проекта по критерию прибыли.

Качественная постановка задачи

Формирование содержания проекта традиционно осуществляется на эвристическом уровне. Часто работы или комплексы работ включаются в состав проекта без достаточного анализа их влияния на другие работы. При этом количество рассматриваемых альтернатив обычно невелико. Данная ситуация объясняется большой трудоемкостью анализа альтернативных вариантов работ или их комплексов в многоэтапных проектах. В работе [1] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени его выполнения. В работе [2] рассматриваются модель и метод оптимизации содержания проекта по критерию затраты на его осуществление при наличии ограничений на сроки. В работе [3] впервые предложена многокритериальная модель задачи оптимизации содержания проекта по критериям время и стои-

мость при наличии альтернативных вариантов выполнения работ или их комплексов, заданных в виде сетевых моделей. В работе [4] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта по срокам и стоимости его выполнения при наличии ограничений на качество продукта после выполнения определенных этапов проекта. В работе [5] предложена математическая модель динамической задачи многокритериальной оптимизации содержания проекта при наличии ограничений и заданных альтернативных вариантах выполнения работ, представленных в виде сетевых моделей. Впервые в качестве критериев рассмотрены прибыль в результате выполнения проекта, качество продукта проекта, время выполнения проекта, его стоимость и связанные с ним риски. Предложен метод решения данной задачи. Для его осуществления необходимо иметь результаты однокритериальной оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, качество, время, стоимость и риски.

Целью работы является создание модели и метода оптимизации содержания проекта по критерию прибыль, которая может быть получена в результате его осуществления.

Целевая функция модели должна отражать прибыль предприятия до налогообложения за все годы жизненного цикла.

В модели предполагается, что после завершения отдельных этапов выполнения проекта не должно быть финансовых задолженностей.

Модель задачи оптимизации содержания проекта по критерию прибыль, это модель вида:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T C_l^{(t)} D_l^{(t)} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} E_{hj} x_{hj} - \sum_{t=1}^T U_t = P' \rightarrow \max_{x_{hj}} \quad (1)$$

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}; S_h \geq 0, \quad h = \overline{1, H}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{M_h} x_{hj} = 1, \quad h = \overline{1, H}; \quad (3)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, M_h}, \quad h = \overline{1, H}; \quad (4)$$

где T – длительность фазы эксплуатации или потребления продукта;

l – вид продукции, общее количество которых равно L ;

$C_l^{(t)}$ – стоимость продукции l -го вида в t -м году, $t = \overline{1, T}$;

$D_l^{(t)}$ – прогноз спроса на продукцию l -го вида в t -м году, $l = \overline{1, L}, t = \overline{1, T}$;

где
$$D_t^{(l)} = \begin{cases} A_t^{(l)}, & \text{если } A_t^{(l)} \leq B_t^{(l)}; \\ B_t^{(l)}, & \text{если } A_t^{(l)} > B_t^{(l)}; \end{cases} \quad (5)$$

$$A_t^{(l)} = \varphi_A(G, x_{kj}), t = \overline{1, T}; \quad (6)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, M_h}, \quad h = \overline{1, H}; \quad (7)$$

$B_t^{(l)}$ – прогнозируемый спрос на продукцию l -го вида в t -м году;

$A_t^{(l)}$ – производственная мощность по l -му виду продукции в t -м году;

M_h – количество вариантов выполнения операций на этапе h , $h = \overline{1, H}$;

h – номер этапа выполнения операций;

H – количество этапов в проекте;

w_{hj} – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (может складываться из стоимостей нескольких операций);

x_{hj} – булева переменная, равная единице, если осуществляется j -й вариант выполнения операций на h -м этапе, и равная нулю в противном случае;

G – сетевая модель операций проекта, включающая альтернативные варианты их выполнения, $G = \{A, Z, \tau, W\}$;

A – множество узлов сети,

$$A = \{a_{hij}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad h = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h},$$

где a_{hij} – i -я операция, осуществляемая на h -м этапе в j -м варианте (альтернативе) сетевой модели;

n_j – количество операций в j -м варианте сетевой модели;

Z – множество направленных дуг,

$$Z = \{z_{hij, pmf}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad m = \overline{1, n_f}, \quad h, p = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h}, \quad f = \overline{1, M_p},$$

где $z_{hij, pmf}$ – дуга, которая выходит из узла i на этапе h альтернативного варианта j и входит в узел m на этапе p альтернативного варианта f ; $i \neq m$ при $p = h$; $p \geq h$;

τ – множество сроков выполнения операций в узлах,

$$\tau = \{\tau_{hij}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad h = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h},$$

141

где τ_{hij} – срок выполнения i -й операции на h -м этапе для j -го варианта выполнения операций;

W – множество стоимостей выполнения операций сети,

$$W = \{w_{hij}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad h = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h},$$

где w_{hij} – стоимость выполнения i -й операции на h -м этапе для j -го варианта выполнения операций;

E_{hj} – остаточная стоимость выбывающих основных фондов при осуществлении на h -м этапе j -го варианта выполнения работ по проекту;

U_t – текущие затраты, связанные с производством продукции;

$$U_t = \varphi_U(G, x_{hj}), t = \overline{1, T};$$

S_h – остаток денежных средств после выполнения работ на h -м этапе;

K_h – объем денежных средств, выделяемых на h -м этапе.

Предложенная модель является однокритериальной, динамической, с булевыми переменными, с алгоритмической целевой функцией и аналитическими ограничениями.

Для решения данной задачи предложен метод оптимизации, относящийся к методам неявного перебора. Для сокращения объема вычислений в главном цикле этого метода и, соответственно, сокращения времени решения целесообразно провести предварительную подготовку информации. Подготовка информации для метода оптимизации содержания проекта с точки зрения прибыли заключается в вычислении нижней границы для затрат, связанных с осуществлением работ на каждом h -м этапе, $h = \overline{1, H}$. Для этого вначале определим затраты, связанные с реализацией на h -м этапе каждого j -го варианта выполнения работ

$$Z_{hj} = w_{hj} - E_{hjt} + \sum_{t=1}^T U_{hjt}, \\ h = \overline{1, H}, \quad \forall j = \overline{1, M_h},$$

где U_{hjt} – текущие затраты в t -м году, связанные с осуществлением на h -м этапе j -го варианта выполнения работ.

Затем на каждом h -м этапе находим вариант, связанный с минимальными затратами, и определяем эти затраты

142

$$Z_{h \min} = \min \{Z_{hj}\}_{j=1}^{M_h}$$

Величины $Z_{h \min}$ будут использованы в методе оптимизации содержания проекта по критерию прибыль.

Метод оптимизации содержания проекта по критерию прибыль состоит из ряда шагов.

$\Theta_H = \emptyset$, Θ_H – множество вариантов f , выбранных на всех H этапах проекта;

$$h := 1; f := 0; f^* := +\infty.$$

1. Начинаем рассмотрение с l -го варианта, т.е. $j_h := 1$.

2. Проверяем, выполняется ли ограничение (2)

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}; \\ S_h \geq 0.$$

Если ограничение не выполняется, переходим к шагу 8.

3. Определяем прибыль, которая может быть получена в результате выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно

$$P_h^* = \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L C_t^{(l)} D_t^{(l)} - \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_h} w_{kj} x_{kj} + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} E_{kj} x_{kj} - \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_k} \sum_{t=1}^T U_{kjt} x_{kj},$$

где U_{kjt} – текущие затраты в t -м году, связанные с осуществлением на h -м этапе j -го варианта выполнения работ. Осуществляем присвоение $f := -P_h^*$.

4. Оцениваем нижнюю границу для затрат, которые могут быть понесены в результате выполнения всех оставшихся этапов, т.е. начиная от $h+1$ -го до H -го включительно.

$$Z_h = Z_{h+1, \min} + Z_{h+2, \min} + \dots + Z_{H, \min}$$

Значения $Z_{h+1, \min} + Z_{h+2, \min} + \dots + Z_{H, \min}$ были определены на этапе подготовки информации.

Величина $\pi = P_h^* - Z_h$ является оценкой верхней границы для прибыли, которая может быть получена на этапах от 1-го до H -го включительно. Если $-\pi \geq f^*$, то использование j -го варианта не приведет к решению лучшему, чем рекордное, переходим к шагу 8.

143

5. Если $h < H$, рассматриваем следующий этап проекта, $h := h + 1$ и возвращаемся к шагу 2.

6. Задаем новое значение рекорда $f^* := f$ и запоминаем множество

$$\Theta_H = \Theta_H \cup \{f\}.$$

7. Если $j_h < M_h$, анализируем следующий вариант, т.е. $j_h := j_h + 1$ и возвращаемся к шагу 3.

8. Если $h > 1$ возвращаемся на предыдущий этап, т.е. $h := h - 1$. Извлекаем из памяти значение j_h и возвращаемся к шагу 8. Если $h = 1$ и $\Theta_H = \emptyset$, задача не имеет решения, иначе получено оптимальное решение. Значение целевой функции $P^* = f^*$, $F_1 := P^*$.

Результаты. В результате проведенной работы были предложены математическая модель и метод оптимизации содержания проекта по критерию прибыль. Разработанные модель и метод необходимы для решения более масштабной задачи оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, сроки, стоимость, качество и риски проекта с помощью метода, основанного на применении обобщенного критерия и неявного перебора.

Модель в сочетании с разработанным методом предназначена для решения задач оптимизации содержания проекта для условий, когда любая работа последующего этапа в проекте не может быть начата до завершения работ предыдущего этапа. При этом альтернативные варианты выполнения работ могут относиться как к одному этапу их выполнения, так и к нескольким этапам.

Предложенная математическая модель и метод оптимизации на следующих этапах работы будет применена для оптимизации проекта развития инструментального производства ИП ХМЗ «ФЭД».

Список использованных источников: 1. Кононенко И.В. Математическая модель и метод минимизации сроков выполнения работ по проекту / И.В. Кононенко, Е.В. Емельянова, А.И. Грицай // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №2/6 (26). – С. 35–40. 2. Кононенко И.В. Математическая модель и метод минимизации затрат по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ / И.В. Кононенко, Е.В. Емельянова // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. науч. тр. Темат. вып. : Системный анализ, управление и информационные технологии. – № 4. – X., 2009. – С. 46–53. 3. Кононенко И.В., Мироненко В.А. Математическая модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 1 / 2 (43) 2010 С. 12–17. 4. Кононенко И. В. Двухкритериальная оптимизация содержания проекта при ограничениях на качество продукта / И. В. Кононенко, И. В. Протасов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №5/4 (47). – С. 57–60. 5. Кононенко И. В. Оптимизация содержания проекта по критериям прибыль, время, стоимость, качество, риски / И. В. Кононенко, М. Э. Колесник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №1/10 (55). – С. 13–15.

Поступила в редакцию 11.05.2012

144