- дает визуальную наглядность процессов, происходящих в крепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.В. Бакланов, Б.А. Картозия, А.Н. Шашенко, В.Н. Борисов; Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы. Издательство МГГУ, 2004.
2. Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко, Е.В. Емец; Расчет крепи горных выработок на ЭВМ: Уч. пособ., Алчевск: ДонГТУ, 2011. – 174 с.
3. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев Н.И. Стальные рамные крепи горных выработок. Издательство: Техника, 1999.
4. Геомеханические аспекты разработки механизированных крепей. Новосибирск, 1988.
5. Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. М.: Недра, 1986. – 288 с.

УДК 624.074.4:681.3:539.4

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ К ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Г.В. Филатов, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения
Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: filatovgv@mail.ru

Аннотация. Исследуются вопросы идентификации математических моделей коррозионного разрушения конструкций по экспериментальным данным с применением методов нелинейного программирования. Предлагается теорема о принадлежности оптимальной точки границе области допускаемых решений и методика идентификации методом случайного поиска.

Ключевые слова: математическое моделирование, идентификация, коррозионное разрушение, нелинейное программирование.

ABOUT APPLICATION OF METHODS OF NONLINEAR PROGRAMMING TO IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS OF CORROSION DESTRUCTION OF CONSTRUCTIONS

G. Filatov, Doctor of technical Sciences, Professor of material authority Department
State Higher Educational institute "Ukrainian state chemical-technological university", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: filatovgv@mail.ru

Abstract. The problem of identification of mathematical models of corrosive destruction of constructions are probed from experimental data with the use of methods of the nonlinear programming. A theorem is offered about belonging of optimum point to the bor-

der of area of the assumed decisions and method of identification the method of random search.

Keywords: mathematical design, identification, corrosive destruction, nonlinear programming.

Введение. Современные методы расчета и проектирования химического и нефтехимического оборудования предполагают применения математических моделей коррозионного разрушения, позволяющих отработать различные варианты воздействия на конструкцию агрессивной среды, температуры, различных комбинаций нагрузок, изменение свойств материала и т.д. Применяемые в вычислительной практике аналитические методы поиска экстремума оптимизируемой функции, например, метод наименьших квадратов, определяет экстремальные величины управляющих переменных безотносительно к размерам области допускаемых параметров. В том же случае, если область допускаемых параметров имеет ограничения, поиск экстремальных управляющих параметров существенно усложняется.

Цель работы. Существующие математические модели коррозионного разрушения конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой, как правило, включают в себя набор эмпирических коэффициентов, значения которых определяются с использованием экспериментальных данных. На область существования этих коэффициентов обычно накладываются ограничения: физические, геометрические и т.п. Не исключено, что экстремальные значения коэффициентов принадлежат границе области допускаемых решений. Исследуем этот вопрос подробно на примере оптимального проектирования некоторой конструкции. Рассмотрим следующую теорему: *При оптимальном проектировании конструкций экстремальное значение целевой функции принадлежит одной или нескольким поверхностям ограничений области допускаемых параметров.*

При доказательстве теоремы сошлемся на рукопись работы Н.А. Алфутова и П.А. Зиновьева “Некоторые особенности задач нелинейного программирования по проектированию конструкций минимального веса”, обобщивших частные решения, приведенные в работах [1], [2].

Сформулируем задачу математического программирования [6, 7]:

минимизировать функцию:

$$F(X) = F(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_n) \qquad (1)$$

при ограничениях

$$g_j(x_1, x_2, \ldots., x_n) \le, =, \ge b_j \qquad (2)$$

где: X = (x_1,x_2,….,x_n) - вектор оптимизируемых параметров конструкции. Задача (1)-(2) является задачей нелинейного программирования, если хотя бы одна из функций F(X), g(X) является нелинейной.

Представим оптимизируемую конструкцию в виде набора дискретных элементов и обозначим линейные размеры дискретных элементов, принятых в качестве независимых переменных в задаче нелинейного программирования, через $x_{ik,}$ где индекс i означает номер элемента, а k – индекс линейного размера в списке размеров, характеризующих элемент i.

Целевая функция, выражающая вес или объем материала конструкции, состоящей из дискретных элементов, в этом случае принимает следующий вид:

$$F(X) = \sum_i \prod_k c_i x_{ik}, (i = 1,2,\ldots,m; k = 1,2,3) \tag{3}$$

Здесь: c_i –постоянные коэффициенты.

$$x_{ik} \geq 0 \tag{4}$$

Ограничения (4) имеют геометрический смысл и сводят задачу математического программирования к поиску экстремума функции (1), удовлетворяющего ограничениям (2), в неотрицательном октанте пространства E^n ($n = i \times k$).

Рассмотрим задачу нелинейного математического программирования с ограничениями типа неравенств:

$$g_j(x) \geq b_j, (j = 1,2,\ldots,m) \tag{5}$$

$$x_{ik} \geq 0 \tag{6}$$

и исследуем функцию (3) на экстремум. Для этой цели используем обобщение классического метода множителей Лагранжа на случай, когда ограничения заданы неравенствами. Преобразуем ограничения (5) в равенства. Для этого введем в выражения (5) вспомогательные переменные z_j. Получим:

$$g_j(x) - b_j - z_j^2 = 0; (j = 1,2,\ldots,m) \tag{7}$$

В результате условия (5) стали равносильны неравенствам:

$$z_j^2 \geq 0; (j = 1,2,\ldots,m) \tag{8}$$

Задача сводится к определению глобального минимума функции F(X) в неотрицательном октанте E^{n+m}. Составим функцию Лагранжа:

$$\Phi(x,z,\lambda) = F(X) + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \left(g_j - b_j - z_j^2\right) \tag{9}$$

где λ_j – неопределенные множители Лагранжа. Приравнивая частные производные от $\Phi(x,z,\lambda)$ по всем переменным, получим следующие уравнения:

$$\frac{\partial \Phi(x,z,\lambda)}{\partial x_{ik}} = c_i x_{i,k-1} x_{i,k+1} + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \frac{\partial g_j(x)}{\partial x_{ik}} = 0 \quad (10)$$

где: k = 1,2,3; k–1 = 1,2 при k = 2,3; k–1 = 3 при k = 1; k + 1 = 2,3 при k = 1,2; k + 1 = 1 при k = 3

$$\frac{\partial \Phi(x,z,\lambda)}{\partial z_j} = -2\lambda_j z_j = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Phi(x,z,\lambda)}{\partial \lambda_j} = g_j(x) - b_j - z_j^2 = 0 \quad (12)$$

Условия (10) – (12) выполняются в двух случаях. В первом из них все $z_j \neq 0, \lambda_j = 0$, что означает выполнение всех ограничений (7) как равенств. Этот случай соответствует поиску минимума функции F(X) внутри неотрицательного октанта пространства E^m, при этом ограничения типа равенств не рассматриваются, так как система уравнений (9) при $\lambda_j = 0$ имеет бесконечное множество решений, принадлежащих неотрицательным участкам осей координат пространства E^n, которые в общем случае не удовлетворяют ограничениям (5), (12). Во втором случае системы уравнений (10) – (12) имеют решение в случае, если хотя бы часть z_j будет равна нулю. В этом случае соответствующие ограничения (5) выполняются со знаком равенства. *В геометрическом смысле высказанное утверждение означает, что точка глобального минимума функции F(X) при наличии ограничений, заданных неравенствами, принадлежит хотя бы одной из поверхностей ограничений.*

Сделанный вывод позволяет рекомендовать для поиска экстремума нелинейных задач математического программирования применять методы нулевого порядка, не требующие анализа производных, например, вероятностные методы.

Результаты исследований. Сформулируем задачу идентификации математической модели коррозионного разрушения как задачу математического программирования. В качества объекта идентификации рассмотрим логистическую модель (МЛКФ) [3].

$$\delta = \frac{\delta_0}{1 + \eta \cdot \exp(-\vartheta \delta_0 t)}, \quad (13)$$

где $\delta_0, \eta, \vartheta$ – коэффициенты, учитывающие влияние коррозийной среды, δ – текущее значение глубины коррозийного повреждения; δ_0 –предельное верхнее значение глубины коррозийного повреждения; t –время коррозии.

Идентификация модели заключается в определении коэффициентов модели $\delta_0, \eta, \vartheta$, которые бы обеспечили наилучшее приближение расчетной кривой, описываемой уравнением (13), к экспериментальной кривой. Запишем выражение для целевой функции в виде функционала:

$$J = \sum_{j=1}^{n}\left[\delta_{эj} - \frac{\delta_0}{1+\eta\cdot\exp(-\vartheta\delta_0 t_j)}\right]^2 \qquad (14)$$

В качестве ограничений, накладываемых на область изменения управляющих переменных, примем условие неотрицательности коэффициентов модели $\delta_0, \eta, \vartheta$:

$$\delta_0^- \le \delta_0 \le \delta_0^+;\ \ \eta^- \le \eta \le \eta^+;\ \ \vartheta^- \le \vartheta \le \vartheta^+, \qquad (15)$$

где $\delta_0^-, \delta_0^+;\ \eta^-, \eta^+;\ \vartheta^-, \vartheta^+$ соответственно нижняя и верхняя границы значений коэффициентов δ_0, η и ϑ

Вводя вектор управляющих переменных $\mathbf{X} = (x_1, x_2, ..., x_n)$ и обозначая их $x_1 = \delta_0,\ \ x_2 = \eta,\ \ x_3 = \vartheta$, получаем следующую задачу математического программирования:

Найти минимум функционала

$$F(\mathbf{X}) = \min\sum_{j=1}^{n}\left[\delta_{эj} - \frac{x_1}{1+x_2\cdot\exp(-x_3 x_1 t_j)}\right]^2 \qquad (16)$$

при выполнении ограничений:

$$\begin{aligned} &g_1(\mathbf{X}) = x_1 - x_1^- \ge 0;\ \ g_2(\mathbf{X}) = x_1^+ - x_1 \ge 0;\\ &g_3(\mathbf{X}) = x_2 - x_2^- \ge 0;\ \ g_4(\mathbf{X}) = x_2^+ - x_2 \ge 0;\\ &g_5(\mathbf{X}) = x_3 - x_3^- \ge 0;\ \ g_6(\mathbf{X}) = x_3^+ - x_3 \ge 0 \end{aligned} \qquad (17)$$

Сформулированная задача математического программирования (16)–(17) решалась методом случайного поиска ПГЭФ [5]. Ограничения на область допускаемых решений принимались следующими: $0{,}01 \le \delta_0 \le 5$ мм; $1{,}0 \le \eta \le 1000{,}0$; $0{,}01 \le \vartheta \le 10{,}0$. Результаты решения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты идентификации модели коррозионного разрушения МЛКФ методом случайного поиска

t_j (годы)	δ_{ej} (мм)	δ_0 (мм)	η	ϑ (1/мм×год)	$\delta(t_j)$, мм	Δ, %
0,164	0,10	2,141	514,0	4,054	0,01	+82,10
0,575	0,49				0,47	+2,65
1,021	1,95				1,99	-2,39
1,441	2,10				2,13	-1,60
2,019	2,08				2,14	-0,02
3,200	2,25				2,14	+4,84

В таблице 2 приведены результаты идентификации модели МЛКФ методом случайного поиска в сравнении с аналогичными результатами, полученными методом наименьших квадратов [3]. Формальный показатель качества $J_{\min}$ при использовании метода случайного поиска оказался значительно меньше, чем аналогичный показатель при использовании метода наименьших квадратов.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов математической модели коррозийного повреждения МЛКФ методом наименьших квадратов НК и методом СП

$J_{\min}$		δ_0 (мм)		η		ϑ (1/мм год)	
НК	СП	НК	СП	НК	СП	НК	СП
0,501	0,026	2,250	2,141	34,00	514,1	1,649	4,054

Вывод. Из сравнения графиков теоретической кривой (Рис.1) хорошо видно, что расчетная кривая, полученная методом случайного поиска, практически совпадает с экспериментальной кривой. Относительная погрешность, за исключением самой нижней точки, не превышает 5% (Табл. 1).

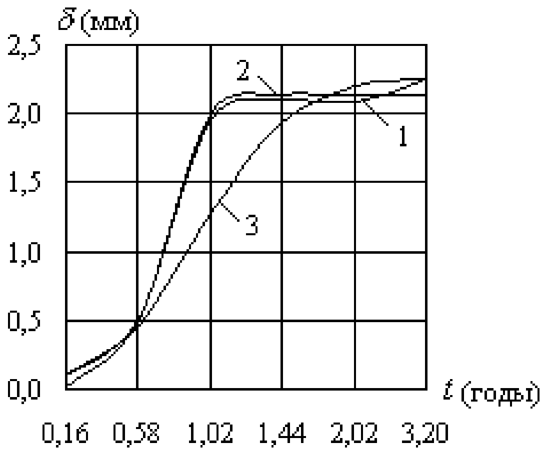

Рис.1 – Графики: 1 - экспериментальной кривой;
2 – рассчетной кривой (СП); 3 – рассчетной кривой (НК)

ЛИТЕРАТУРА

1. Gellatly R.A. A procedure for automated minimum weight design. Part I./ R.A.Gellatly, R.H.Gallagher //Theoretical Basis. Aeron. Quart., 1966, v.7, №7, p. 63-66.

2. Гинзбург И.Н. Об одном методе выбора оптимальных параметролв конструкций / И.Н.Гинзбург, С.Н.Кан // Труды VII Всес. Конференции по теории оболочек и пластин, Ростов, 1971, С.34-35.

3. Петров В.В. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой./ В.В.Петров, И.Г.Овчинников, Ю.М.Шихов - Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1987. - 288 с.

4. Фиакко А. Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной оптимизации / А .Фиакко, Г.Мак-Кормик.– М.: Мир, 1972. – 240 с.

4. Филатов Г.В. Стохастический метод поиска глобального экстремума функции с управляемыми границами интервала оптимизируемых параметров/ Г.В.Филатов // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск: УГХТУ. – 2000. – №1. – С.334-338.

5. Филатов Г.В. К вопросу об оценке коэффициентов математических моделей коррозионного разрушения конструкцій / Г.В.Филатов // ФХММ. – 1993. – Т.29. – №6. – С.59–64.

6. Філатов Г.В. Оптимальне проектування конструкцій методами випадкового пошуку / Г.В.Филатов // Монографія. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2003. – 433 с.

УДК37.022

КАК ВЫРАБОТАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЙ СТИЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.Н. Шумельчик, инженер-конструктор
г. Днепропетровск, Украина, e-mail: katerynа.prokopenko.kp@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрены оптимальные приемы в процессе моделирования в среде SolidWorks для более точного, рационального и корректного выполнения поставленных задач. Программное обеспечение SolidWorks является мощным инструментом для работы инженера-конструктора, требуется лишь умело использовать все его возможности и максимально сократить время проектирования.

Ключевые слова: SolidWorks, моделирование, проектирование, взаимосвязи эскиза, центральная точка, главные плоскости.

HOW TO DEVELOP THE MODELING STYLE OF A GOOD QUALITY

Kateryna Shumelchyk, Design Engineer
Ukraine, Dnepropetrovsk, e-mail: kateryna.prokopenko.kp@gmail.com

Abstract. The optimal methods in the process of modeling in SolidWorks for more accurate, efficient and correct tasks accomplishment are considered in this article. SolidWorks software is a powerful tool for the design engineer work, the only thing required is to use all its features skillfully and minimize design time.

Keywords: SolidWorks, modeling, design, sketchrelations, central point, main plates.

Введение. В современном мире без использования технологий трехмерного компьютерного моделирования не обходится практически ни один машиностроительный завод. Поэтому, обучение специалистов высокой квалификации в данных технологиях – одна из главных задач высшей школы.