

**П.О. ЧИКУНОВ**, ст. пр., Учебно-научный профессионально-педагогический институт, Артемовск;

**О.А. КРИВОДУБСКИЙ**, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Донецк

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И НАСТРОЙКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ СОЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Выполнена постановка задачи параметрической идентификации и настройки параметров динамической модели оперативного прогноза ассортимента продукции ГП «Артемсоль». Представлена блок-схема и описание алгоритма идентификации и настройки параметров.

**Ключевые слова:** параметрическая идентификация, функционал ошибки, частные производные, настройка модели, система дифференциальных уравнений.

**Введение и постановка проблемы.** При решении задач разработки систем поддержки принятия решений (СППР) важным элементом является наличие математической модели объекта управления. Это позволяет целенаправленно выполнять проектирование и разработку эффективных алгоритмов управления. Процедуру идентификации можно рассматривать как задачу уточнения параметров модели по экспериментальным данным в зависимости от условий эксплуатации. В качестве объекта управления в работе выступает Государственное предприятие (ГП) «Артемсоль», являющееся монополистом на Украине по добыче и переработке каменной соли. На основании анализа деятельности предприятия [1] разработана динамическая модель оперативного прогноза ассортимента продукции предприятия в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, содержащей шестнадцать параметров [2]. В процессе эксплуатации СППР необходимо ежемесячно производить настройку параметров моделей и коэффициентов функционалов цели. Процедура определения численных значений этих параметров (параметрическая идентификация), учитывающая специфику технологических решений переработки соли на каждом руднике, позволяет превратить эту модель в рабочий инструментальный планово-производственных служб предприятия.

**Анализ литературных источников.** Постановка задач принятия решения при планировании деятельности ГП «Артемсоль» отражена в работе [1]. Анализ предприятия, как объекта управления, осуществлен в работе [3]. В работе [4] рассматриваются основные положения моделирования производственных показателей предприятия. Формализация производственных затрат ГП «Артемсоль» выполнена в работе [5]. Математическая модель прогноза

производственных затрат приведена в работе [6]. Разработка динамической модели оперативного прогноза выполнена в работе [2]. Постановки задач параметрической идентификации приводятся в [7].

**Целью статьи** является описание алгоритма идентификации и настройки динамической модели оперативного прогноза СППР ГП «Артемсоль», включая постановку задачи параметрической идентификации и численные процедуры ее реализации.

**Постановка задачи параметрической идентификации.** Качество математической модели принято оценивать по критерию ошибки  $E$ .

$$E = \sum_{i=1}^N e_i, \quad (1)$$

где  $e_i = y_{im}(x, t, \beta) - y_{iob}(x, t)$ ,  $y_{im}$  – переменная, прогнозируемая по модели,  $y_{iob}$  – значение переменной, измеренной на объекте управления при тех же значениях аргумента  $x$ .

В основе параметрической идентификации лежит формирование ошибки:

$$e = G_{ЭМП}(t) - G_{МОД}(\beta, t), \quad (2)$$

где  $G_{ЭМП}$  – опытные статистические данные, характеризующие объем различного ассортимента соли, которого с учетом декомпозиции по видам расфасовки, затаривания и крупности помола насчитывают более 50 видов.

На основании ошибки формируется среднеквадратичный критерий ошибки [7] в виде функционала

$$E(G_{ЭМП}, G_{МОД}) = \sum_{i=1}^N e_i^2. \quad (3)$$

Постановка задачи параметрической идентификации дифференциальных уравнений модели *в малом* определяется выражением

$$E(G_{ЭМП}(t), G_{МОД}(\beta, t)) \rightarrow \min_{\beta}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – вектор параметров модели.

Постановка задачи параметрической идентификации имеет следующий вид.

Решение задачи (4), определяющее меру близости характеристик объекта и модели, осуществляется с использованием условия необходимости существования минимума функционала в виде:

$$\frac{\partial E}{\partial \beta} = 0. \quad (5)$$

В связи с итеративным характером выполнения численных процедур на современных компьютерах, это условие сводится к настройке математической модели в виде:

$$\overline{\partial E / \partial \beta} \rightarrow 0. \quad (6)$$

Степень близости к экстремуму определяется условием (7), которое позволяет оценивать степень близости решения задачи (4) к экстремуму:

$$\partial E / \partial \beta_i \leq \varepsilon_i. \quad (7)$$

В общем случае:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial \beta} \cdot \frac{d\beta}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (8)$$

Как правило, возмущение производной  $\partial E / \partial t$  измерить невозможно, поэтому в основе алгоритмов параметрической настройки лежат аппроксимирующие циклы получения частных производных  $\partial E / \partial \beta$ . Используются два метода: *метод чувствительности* и *метод двух моделей*.

В основе метода чувствительности лежит условие чувствительности системы уравнений модели к изменению значений параметров  $\beta$ . Тогда зависимости модели  $G_{\text{МОД}}(\overline{\beta}, t)$  заменяются зависимостью  $G_{\text{МОД}}(\overline{\beta})$ . Основываясь на этой предпосылке [7], метод двух моделей предполагает решение уравнений модели с использованием значений параметра  $\beta$  на первом шаге и с использованием значений  $\beta + \Delta\beta$  на втором шаге. Оценка первой производной имеет вид конечной разности 1-го порядка:

$$\frac{\partial G}{\partial \beta} \Rightarrow \frac{G(\beta + \Delta\beta) - G(\beta)}{(\beta + \Delta\beta) - (\beta)} = \frac{\Delta G}{\Delta \beta}. \quad (9)$$

Такой метод получения оценок частных производных позволяет использовать для решения задачи (4) метод наискорейшего спуска:

$$\beta(i+1) = \beta(i) - \Gamma \frac{\Delta E}{\Delta \beta} \Big|_{\beta=\beta(i)}, \quad (10)$$

где  $i$  – номер итерации,  $\Gamma$  – коэффициент масштаба движения к экстремуму,  $\Delta E / \Delta \beta \Big|_{\beta=\beta(i)}$  – градиент.

Тогда при настройке, согласно методу чувствительности, осуществляется итеративная процедура настройки параметров модели  $\beta$  при фиксированном времени. В результате численная процедура интегрирования по времени превращается в процедуру интегрирования по параметру, то есть (10).

При каждом шаге итерации вычисляется значение ошибки  $e_i$  для каждой переменной. Процедура настройки в дискретном аппроксимирующем варианте завершается, если соблюдается условие:

$$\left| \overline{e}_i \right| = \left| \overline{y}_{iM} - \overline{y}_{i00} \right| < \varepsilon_i, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_i$  – величина, задаваемая при определенной точности настройки по ие-

рархии показателей.

**Описание алгоритма настройки модели.** Блок-схема алгоритма настройки параметров динамической модели представлена на рисунке. Блоки 1 – 7 служат для начальной идентификации. В блоке 1 задаётся значение параметров модели, аппроксимированные исходя из предположения о линейном характере преобразования потоков соли в готовую продукцию. При этом расчете система дифференциальных уравнений рассматривается как система линейных уравнений на одном шаге итерации, параметры выступают в качестве неизвестных и *методом Гаусса* решается система линейных уравнений, определяются начальные значения параметров. Величина приращения  $\Delta\beta$  выбирается на 3 порядка ниже значений параметров. Ввод значений приращений  $\beta$  осуществляется в блоке 2. В блоках 3 и 4 происходит обращение к подпрограммам решения систем дифференциальных уравнений модели из пакетов MathLab или MathCAD. В блоке 3 интегрируются уравнения модели со значением параметров  $\beta$ . В блоке 4 – со значениями параметров  $\beta + \Delta\beta$ .

Вычисления частных производных производятся в блоке 5 согласно (8), а значение градиента – в точке  $\beta$  блока 6.

Блок 7 предназначен для расчета настройки параметров согласно *методу наискорейшего спуска* (10). Таким образом, процедуры, выполняемые в блоках 1 – 7, носят предварительный характер, поставляя начальные условия для последующих процедур настройки модели.

В блоке 8 заносятся эмпирические данные значений объемов ассортимента соли, как исходный статистический материал.

Блок 10 предназначен для обнуления индексных показателей, после чего на базе предварительных расчетов следует решение уравнений модели.

Затем осуществляется повторное присваивание индексов в блоке 11 и показателей в блоках 12 и 13. В блоке 13 вычисляются, согласно (10), частные производные, а в блоке 15 – значение градиента.

Блок 16, как часть цикла, определяет переход к следующей итерации, а в блоке 17 итеративно пересчитываются согласно (10) значения параметров.

Если не выполнено условие меры близости значений переменных  $G_{МОД}$  и  $G_{ЭМП}$ , рассчитанных по уравнениям модели и эмпирических значений, настройка продолжается в цикле блоков 18 – 9 – 18.

При выполнении условий настройки на выходе алгоритма получаем значение параметров модели, после чего эта модель готова к прогнозу показателей переработки соли на том руднике, где был собран массив эмпирических данных, вводимых в алгоритм параметрической идентификации.

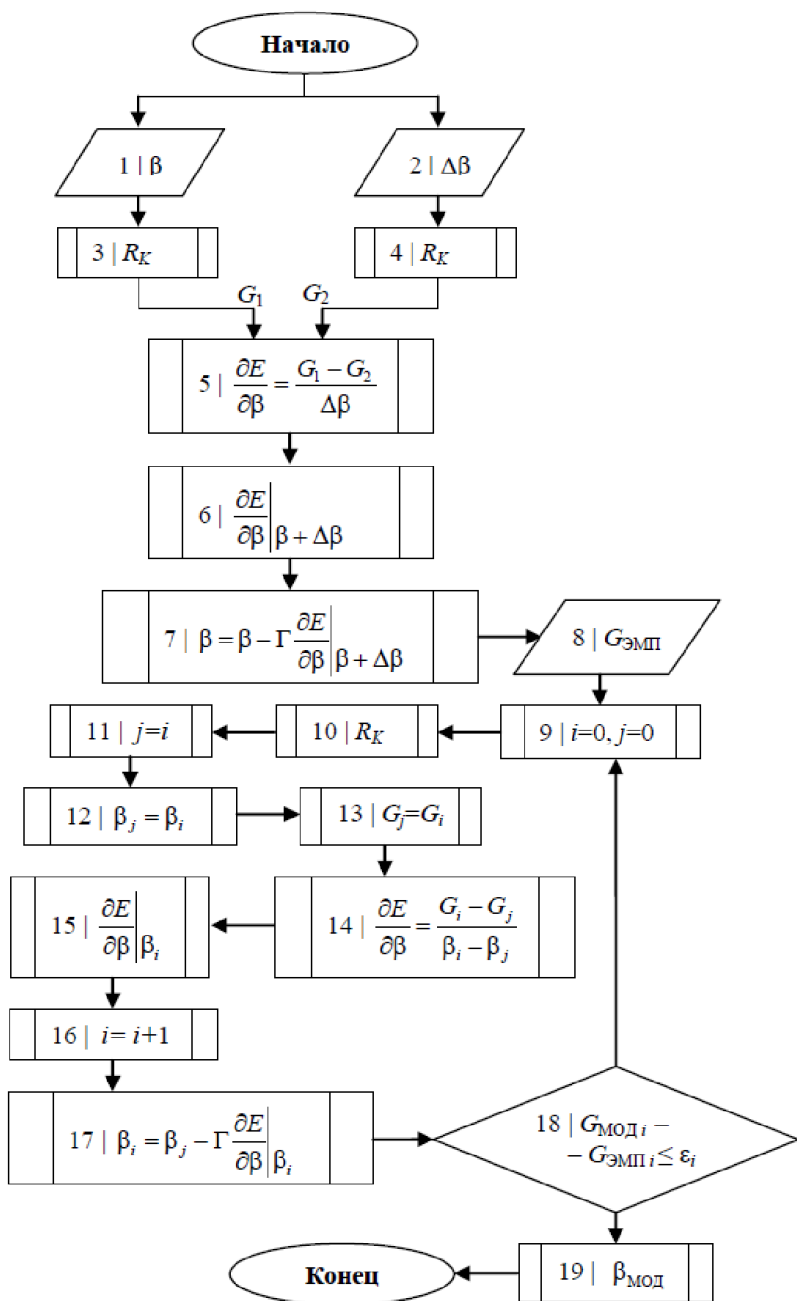


Рисунок – Блок-схема алгоритма настройки параметров модели.

**Выводы.** Научная новизна работы заключается в постановке задачи идентификации параметров и настройки динамической модели оперативного прогноза ассортимента продукции ГП «Артемсоль». Представлены блок-схема и описание итерационного алгоритма настройки параметров модели. Практическая значимость работы заключается в том, что численные решения уравнений динамической детерминированной модели позволят планово-производственным службам перерабатывающих комплексов рудников решать задачу прогноза объемов выпуска продукции на любой, наперед заданный интервал времени.

**Список литературы:** 1. *Криводубский О.А.* Разработка системы управления ГПО «Артемсоль» / *О.А. Криводубский, О.В. Ильчишин, П.А. Чукунов* // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. – №1. – С. 37 – 41. 2. *П.А. Чукунов.* Динамические модели оперативного прогноза ассортимента продукции рудников ГП «Артемсоль» / *П.А. Чукунов* // Комп'ютерно-інтегровані технології в освіті, науці, виробництві. – 2013. – №11 – С. 248 – 254. 3. *Криводубский О.А.* Математическая модель планирования производства соли / *О.А. Криводубский, П.А. Чукунов* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №2 (29). – С. 107 – 110. 4. *Чукунов П.А.* Функциональные особенности системы подготовки принимаемых решений ГП «Артемсоль» / *П.А. Чукунов* // Системи обробки інформації. – 2012. – №3 (101). Том 1. – С. 107 – 110. 5. *Криводубский О.А.* Логико-формальная модель взаимосвязей ассортимента продукции, выпускаемой ГПО «Артемсоль» / *О.А. Криводубский, П.А. Чукунов, А.О. Новаковская* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010 – №4 (45). – С.205 – 210. 6. *Криводубский О.А.* Математическая модель прогноза затрат на производство соли / *О.А. Криводубский, П.А. Чукунов* // Системи обробки інформації. – 2012. – №7 (105). – С. 257 – 262. 7. *Эйхгофф П.* Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975.

*Поступила в редколлегию 09.10.2013*

---

УДК 681.5:УДК 519.6

**Параметрическая идентификация и настройка динамической модели оперативного прогноза ассортимента продукции соледобывающего предприятия / П. А. Чукунов, О. А. Криводубский** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №54 (1027). – С. 201 – 206. Бібліогр.: 7 назв.

Виконана постановка задачі параметричної ідентифікації та налаштування параметрів динамічної моделі оперативного прогнозу асортименту продукції ДП «Артемсіль». Представлена блок-схема і опис алгоритму ідентифікації та налаштування параметрів моделі. Обрані числові методи розрахунку параметрів моделі.

**Ключові слова:** параметрична ідентифікація, функціонал помилки, часткові похідні, настройка моделі, система диференціальних рівнянь.

Completed statement of the problem of parametric identification and configuration of a dynamic model of the operational forecast of the product range SE "Artemsolt". Is a block-diagram and description of the identification algorithm and adjustment of model parameters. Chosen numerical methods for calculating the parameters of the model.

**Key words:** parametric identification, functional errors, partial derivatives, setting up the model, the system of differential equations.