

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ КОББА-ДУГЛАСА

УДК 621.6

MODELING OF THE PERFORMANCE MODES OF CYCLONE DUST COLLECTORS AT GAS TRANSMISSION COMPRESSOR STATIONS WITH THE USE OF COBB-DOUGLAS FUNCTION

Рассмотрен вопрос совершенствования процессов эксплуатации циклонных пылеуловителей на компрессорных станциях в области решения задач моделирования режимов работы с использованием производственной функции Кобба-Дугласа. Построены математические модели режимов работы циклонных пылеуловителей. Полученные функции могут применяться для моделирования, расчета, оптимизации, управления и контроля режимов работы оборудования для очистки газа на компрессорных станциях с учетом индивидуальных коэффициентов адаптации (аппроксимации).

The question of improving operating procedures of cyclone dust collectors at gas-compressor stations is considered in the context of resolving problems of modeling of the performance modes with the use of Cobb-Douglas production function. Mathematical models of performance modes of cyclone dust collectors are built. The functions obtained are applicable for modeling, calculation, optimization, management and control of gas treatment facilities at gas-compressor stations with account of individual adaptation (approximation) coefficients.

Э.С. Иванов**ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет****E.S. Ivanov****FSBEI Ufa state petroleum technical university**

Ключевые слова: пылеуловитель, оборудование для очистки газа, моделирование, аппроксимация, расчет, оптимизация, производственные функции Кобба-Дугласа.

Key words: dust collector, gas treatment facilities, modeling, approximation, calculation, optimization, Cobb-Douglas production functions.

Введение

Промышленное оборудование для очистки газа в соответствии с принципами очистки разделяют на две группы: «сухого» и «мокрого» отделения механических примесей.

Принцип действия «мокрых» аппаратов основан на контакте газа с жидкостью. К аппаратам «мокрого» отделения относятся масляные фильтры и масляные пылеуловители (степень очистки 97-98%).

Принцип действия аппаратов «сухого типа» состоит в искусственном осаждении механических примесей под действием гравитационных и центробежных сил. К аппаратам «сухого» типа относятся гравитационные сепараторы (степень очистки 70-80%), циклонные пылеуловители (степень очистки 85-98%), фильтры и фильтры-сепараторы (степень очистки до 99 %) [3].

В магистральном транспорте газа широкое применение получили циклонные пылеуловители, которые входят в состав установок очистки газа на компрессорных станциях ОАО «Газпром».

Постановка задачи

В процессе эксплуатации компрессорных станций требуется контроль эксплуатирующим персоналом технологических параметров режимов работы пылеуловителей – входного давления, перепада давления и расхода технологического газа.

Следует отметить, что в процессе расчета или моделирования режимов работы компрессорных станций на уровне производственно-диспетчерского управления возникает оптимизационная задача по определению количества работающих пылеуловителей, рабочих точек режимов работы пылеуловителей с последующим расчетом перепада давления.

Наряду с оптимизацией режимов работы газоперекачивающих агрегатов и аппаратов воздушного охлаждения газа, расчет режимов работы пылеуловителей является важным этапом в моделировании режимов работы компрессорных станций.

Согласно источников [1], [2] графические характеристики циклонных пылеуловителей представляют собой зависимости расхода технологического газа при стандартных условиях (q , млн.м³/сут) от входного давления ($P_{вх}$, МПа) и перепада давления на аппарате (ΔP , МПа).

Графический метод определения режимов работы пылеуловителей имеет следующие недостатки:

- снижается точность и оперативность определения технологических параметров, особенно расчетного перепада давления на аппарате при известных значениях расхода и входного давления;

- отсутствие возможности решения задач по поддержанию оптимального режима работы пылеуловителей в автоматизированном режиме;
- трудоёмкость использования при моделировании режимов работы компрессорных станций;
- отсутствие возможности составления алгоритмов и программ для решения задач расчета, оптимизации и регулирования работы пылеуловителей.

Для решения указанных задач предлагается применять аналитический метод определения режимов работы. Для реализации аналитического метода необходимо разработать адаптированную математическую функцию для моделирования режимов работы пылеуловителей.

Моделирование режимов работы пылеуловителей

При эксплуатации пылеуловителей на производстве используются графические характеристики, представляющие собой плоскости в трехмерной системе координат.

Моделирование режимов работы пылеуловителей предлагается производить на основе функции Кобба-Дугласа [4], [5], [6] которая представляет собой степенную функцию вида:

$$f(x, y) = z = Ax^\alpha y^\beta \quad (1)$$

где A, α, β – коэффициенты аппроксимации;
 z, x, y – зависимая и независимые переменные в трехмерной системе координат.

Геометрически область определения функции представляет собой конечную или бесконечную часть плоскости (поверхности), ограниченную линиями, представляющими предельное состояние модели или системы.

Степенная функция Кобба-Дугласа в своем базовом виде является уравнением с тремя переменными и имеет ряд положительных качеств:

- простой и элегантный вид, что является удобным для практического применения в производственных условиях;
- удобство обработки графической и статистической информации в процессе определения коэффициентов аппроксимации с использованием метода наименьших квадратов;
- удобство алгебраических преобразований и возможность представления технологических параметров режимов работы пылеуловителей в явном виде, что является преимуществом при составлении алгоритмов управления, регулирования и оптимизации.

Заводские графические характеристики пылеуловителей представляют собой область (плоскость) зависимости расхода технологического газа при стандартных условиях (q) от входного давления ($P_{вх}$) и перепада давления на аппарате (ΔP):

$$q = f(P_{вх}, \Delta P), \quad (2)$$

где q – расход газа через пылеуловитель, млн.м³/сут;

$P_{вх}$ – давление газа на входе в пылеуловитель, МПа;

ΔP – перепад давления газа на пылеуловителе, МПа.

Сложную трехмерную плоскость, описывающую область режимов работы пылеуловителей, можно представить в виде уравнения на основе базовой функции Кобба-Дугласа (1) с учетом (2):

$$q = A \cdot P_{вх}^\alpha \cdot \Delta P^\beta \quad (3)$$

Коэффициенты аппроксимации (адаптации) A, α, β индивидуальны для каждого типа пылеуловителей и могут быть определены с использованием существующих (паспортных) графических характеристик или на основе статистических (экспериментальных) данных с использованием метода наименьших квадратов с применением уравнения (3).

Для определения коэффициентов аппроксимации уравнения (3) были выполнены следующие преобразования:

1) логарифмирование правой и левой части уравнения (3);

2) определение значений технологических параметров по паспортным заводским графическим характеристикам на примере циклонных пылеуловителей ГП.144.00.000 и ГП.628.00.000-02 (03) [1], [2] для количества точек $n=52$;

3) представление прологарифмированной функции (3) в виде уравнения суммы разности квадратов левой и правой части для количества точек измерения $n=52$:

$$F = \sum_{i=1}^n (f_i(q_i, P_{вхi}, \Delta P_i))^2 = \sum_{i=1}^n (\ln(q_i) - (\ln A + \alpha \ln P_{вхi} + \beta \ln \Delta P_i))^2 \quad (4)$$

4) выполнение замены переменных для удобства математических преобразований:

$$\ln A = a \quad (5)$$

$$\ln q_i = d_i \quad (6)$$

$$\ln P_{вхi} = b_i \quad (7)$$

$$\ln \Delta P_i = c_i \quad (8)$$

5) математические преобразования и нахождение частных производных полученной функции по каждой неизвестной переменной A, α, β :

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

б) подставление численных значений и решение системы уравнений (9) с тремя неизвестными коэффициентами аппроксимации A , α , β .

Таким образом, с использованием производственной функции Кобба-Дугласа получены математические модели, описывающие область (плоскость) режимов работы пылеуловителей, которые могут быть записаны:

- для пылеуловителей типа ГП 628.00.000-02 и ГП 628.00.000-03:

$$q = 49,730632417197100 \cdot P_{BX}^{0,51756311001428} \cdot \Delta P^{0,51557154378264} \quad (10)$$

- для пылеуловителей типа ГП 144.00.000:

$$q = 43,28817227968 \cdot P_{BX}^{0,540131155626683} \cdot \Delta P^{0,508411979048212} \quad (11)$$

Функции Кобба-Дугласа позволяют представить характеристику пылеуловителя в виде криволинейной плоскости в трехмерной системе координат (рисунок 1 и рисунок 2).

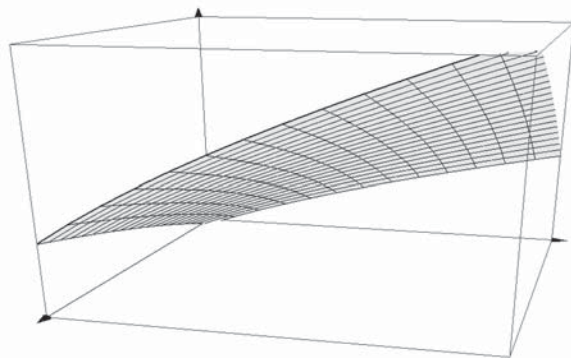


Рисунок 1. Характеристика пылеуловителя ГП 144.00.000 на базе функции Кобба-Дугласа в трехмерной системе координат

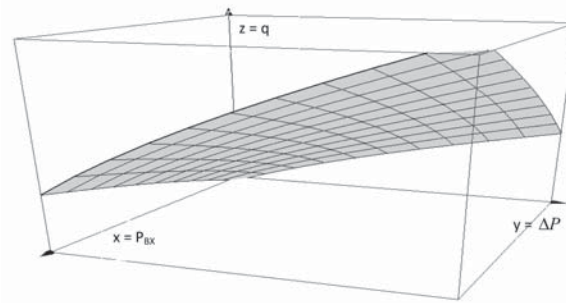


Рисунок 2. Характеристика пылеуловителя ГП 628.00.000-02 на базе функции Кобба-Дугласа в трехмерной системе координат

Вывод

В результате исследований построены математические модели циклонных пылеуловителей с применением функций Кобба-Дугласа.

Разработанный подход к процессам эксплуатации пылеуловителей может применяться для остальных типов технологического оборудования для очистки газа от примесей на компрессорных станциях с учетом индивидуальных коэффициентов адаптации (аппроксимации). Полученные функции могут применяться для расчета, оптимизации, управления и контроля режимов работы пылеуловителей, составления алгоритмов систем автоматического управления и регулирования режимов работы пылеуловителей, а также расчетов рабочих зон и величин перепадов давления на пылеуловителях в процессе моделирования режимов работы компрессорных станций.

Следует отметить, что моделирование режимов работы на основе функций Кобба-Дугласа можно использовать для широкого спектра технологического оборудования, применяемого в газовой промышленности – центробежных компрессоров, аппаратов воздушного охлаждения газа (масла), газотурбинных установок в составе ГПА, клапанов, регуляторов давления газа и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паспорт сосуда работающего под давлением ГП 144.00.000. Волгоград: Волгограднефтемаш, 1974. 145 с.
2. Паспорт сосуда работающего под давлением ГП 628.00.000. Салават: Салаватнефтемаш, 1998. 496 с.
3. Мустафин Ф.М., Смаков С.Х., Коновалов Н.И. Машины и оборудование для газопроводов. Уфа, ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 208 с.
4. Paul Howard Douglas. The Theory of Wages: new issue of 1934 ed edition. New York: Augustus M Kelley Pubs, 1969. 693 p.
5. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь. М.: Дело, 2003.520 с.
6. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1975. 607 с.

Иванов Э.С., аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ
Ivanov E.S., postgraduate student of chair, «Transport and storage of oil and gas», FSBEI USPTU
e-mail: ernest.ivanov@mail.ru