Общероссийский математический портал

С. Ю. Ганигин, Оптимизация компонентного состава водотопливной эмульсии и динамика систем подготовки непрерывного действия, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2005, выпуск 38, 131–136

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu387>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.89.56.158

26 апреля 2023 г., 16:37:32

Тогда величину ПМПП можно оценить выражением

$$V_{непр} / V_{сф} ,$$

где $V_{сф} = \frac{4\pi R_{\phi}^3}{3}$ — объем сферической частицы.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами экспериментов, проведенными на вращающейся печи Известняково-доломитового производства ОАО ММК.

Таким образом, предложенная модель позволяет определять величину непрокаленной части обрабатываемого материала и тем самым определять величину потерь материала при прокаливании ПМПП — основного параметра качества металлургической извести, характеризующего эффективность ведения технологического процесса обжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнов В. А., Бухмиров В. В., Крупенников С. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990. 239 с.
2. Кузнецова Т. В. и др. Физическая химия вяжущих материалов. М.: Высш. шк., 1989. 384 с.
3. Монастырев А. В. Производство извести. М.: Из-во лит-ры по стр-ву, 1972. 207 с.

Поступила 5.09.2005 г.

УДК 621.982

С. Ю. Ганигин

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ И ДИНАМИКА СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассматриваются вопросы построения систем оптимизации компонентного состава водотопливной эмульсии (ВТЭ) по показателям функционирования дизельных энергетических установок. Приводятся критерии оптимизации по статическим характеристикам. Предложена динамическая модель диспергатора и даются рекомендации к построению контура стабилизации концентрации воды в ВТЭ.

В состав топливной аппаратуры многих дизельных установок в промышленности и на транспорте входят системы подготовки водотопливной эмульсии (ВТЭ). Большинство из них поддерживает фиксированный, априорно определенный состав ВТЭ, который считается наилучшим по экономическим показателям сгорания топлива. Однако такие системы обладают рядом недостатков. Основным из них является несоответствие фиксированного состава ВТЭ наилучшему по экологическим показателям. В силу ряда физико-химических особенностей сгорания ВТЭ оптимальные концентрации воды для экономических и экологических показателей отличаются. Отличаются они и для различных токсичных компонент продуктов сгорания. Другим недостатком является отсутствие учета влияния на показатели сгорания режимов работы энергетической установки и изменение ее параметров во время функционирования и за весь период эксплуатации.

Указанные недостатки можно устранить в системах непрерывного действия, оптимизируя компонентный состав ВТЭ в процессе функционирования энергетической установки. Структура такой системы управления показана на рис. 1.

В состав системы управления входит контур определения оптимального состава ВТЭ (верхний уровень управления); контур стабилизации состава ВТЭ (нижний уровень управления), устройство подготовки ВТЭ; дозатор, регулирующий подачу воды. В данном случае в качестве объекта управления рассматривается дизельный двигатель.

Оптимальный состав эмульсии определяется по результатам наблюдения функционирования двигателя (наблюдаемые величины — частота вращения, концентрации токсичных компонент в ОГ, фактическая концентрация воды в ВТЭ). Данные о функционировании двигателя подвергаются статистической обработке, на основе которой по критериям оптимизации определяется оптимальный состав эмульсии. Найденное значение концентрации воды поступает далее в контур стабилизации в качестве требуемой выходной величины. В контуре стабилизации формируются управляющие воздействия, которые поступают на дозатор с целью стабилизации фактической концентрации на уровне требуемой за минимальное время.

Р и с. 1. Модель АСУПВТЭ для дизельного двигателя

Основной задачей при проектировании подобных систем является разработка критериев оптимизации и их формализация для целей управления. Решение этой задачи для дизельных двигателей проводилось на основе обобщения экспериментальных данных, опубликованных исследователями проблемы применения ВТЭ, также полученных сотрудниками НИИ надежности механических систем СамГТУ (рис. 2 и 3).

Р и с. 2. Зависимость дымности отработавших газов от концентрации воды в ВТЭ при реостатных испытаниях дизеля ПД-1М тепловоза ТЭМ-2

Р и с. 3. Зависимость удельного расхода топлива от концентрации воды в ВТЭ при реостатных испытаниях дизеля ПД-1М тепловоза ТЭМ-2

Сглаживание экспериментальных данных проводилось методом наименьших квадратов. В качестве аппроксимирующей функции использовались степенные полномы.

Вектор коэффициентов полинома определяется из матричного выражения [1]

$$\tilde{A} = (F^T F)^{-1} F^T \tilde{Y},$$

где F — матрица значений степеней входной координаты; Y — вектор усредненных значений выходной координаты в выбранных узлах.

Наилучшие результаты в каждом из рассмотренных случаев были получены при использовании полиномов третьей степени.

На основе анализа этих данных можно сделать следующие общие выводы о характере изменения показателей токсичности и экономичности в зависимости от количественного соотношения компонентов эмульсии:

при изменении концентрации воды в ВТЭ показатели токсичности ОГ (CO , NO_x , дымность и т.д.) в установившихся режимах (при фиксированной нагрузке) монотонны или имеют экстремальное поведение с одной точкой экстремума (выпуклость функций статических характеристик), характер монотонности (возрастание или убывание) зависит от конструкции топливной аппаратуры, типа двигателя и др;

показатель экономичности (удельный расход топлива при фиксированной мощности) имеет экстремальный характер в зависимости от концентрации воды в ВТЭ с участком минимального удельного расхода в некотором интервале изменения C_w ;

в силу ряда физико-химических особенностей сгорания ВТЭ в ДЭУ точки экстремума статических характеристик по экономическим и экологическим показателям не совпадают;

статические характеристики объекта управления с достаточной для решения задачи управления точностью можно аппроксимировать полиномами третьей степени.

С практической точки зрения, учитывая вышеуказанные особенности объектов управления, можно выделить основные состояния этих объектов и соответствующие этим состояниям режимы оптимизации (рис. 4 и 5).

Р и с. 4. Показатели токсичности не превышают соответствующих ПДК в диапазоне допустимых C_w . Оптимальная концентрация — точка минимума статической характеристики удельного расхода топлива

Р и с. 5. Показатели токсичности не превышают соответствующих ПДК в некотором интервале изменения C_w , включающем интервал экстремального поведения кривой расхода чистого топлива

Критерии оптимизации и соответствующий алгоритм поиска оптимальной концентрации формально можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} C(C_w, N) < T_{\text{lim}}, \\ C_w \in [0; C_{w_{\text{пр}}}], \\ C_w = \arg \min_{C_w \in \Omega} g(C_w, N), \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\Omega: \left\{ \begin{array}{l} C(C_w, N) < T_{\text{lim}}, \\ C_w \in [0; C_{w_{\text{пр}}}], \end{array} \right. \quad (2)$$

$$C_w = \arg \min_{C_w \in \Omega} g(C_w, N), \quad (3)$$

где C_w — концентрация воды в эмульсии; T_{lim} — предельно допустимая концентрация (ПДК, таблица) токсичного компонента в продуктах сгорания [2]; N — показатель производительности дизельной установки; g — удельный расход чистого топлива; $C_{w_{\text{пр}}}$ — интервал допустимых концентраций; Ω — интервал концентраций, в пределах которого токсичные компоненты не превосходят соответствующих ПДК.

Первые два неравенства задают интервал рабочих концентраций воды в ВТЭ, в пределах которого показатели токсичности не превышают ПДК ($C_{w_{\text{lim}}}$). Последнее уравнение определяет единственное значение концентрации как точка минимума экономического показателя в найденном интервале.

Интервал допустимых концентраций определяется в результате решения совокупности неравенств:

$$\begin{cases} C_1(C_w) \leq \text{ПДК}_1, \\ C_2(C_w) \leq \text{ПДК}_2, \\ \dots\dots\dots \\ C_n(C_w) \leq \text{ПДК}_n, \end{cases}$$

где $C_1(C_w)$, $C_2(C_w)$, $C_n(C_w)$ — статические характеристики показателей токсичности (многочлены третьей степени).

Предельно допустимые концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Вещество	ПДК, мг/м ³ Максимальная разовая	ПДК, мг/м ³ Среднесуточная
Азота диоксид	0,085	0,04
Азота оксид (II)	0,4	0,06
Оксид углерода	5	3
Сажа	0,15	0,05

На рис. 6 показано графически решение этих неравенств.

Р и с. 6. Определение допустимого интервала концентраций воды по статическим характеристикам двух показателей токсичности (C_1 и C_2)

При реализации системы управления и формализации алгоритмов решать эти неравенства можно известными численными методами.

Так как на интервале допустимых значений (в результате погрешности аппроксимации) статические характеристики показателей токсичности могут не являться выпуклыми функциями, необходимо провести дополнительный анализ полученных корней.

При определении допустимого интервала концентраций может возникнуть неоднозначность при анализе различных токсичных компонентов. В случае, если интервалы не пересекаются, т.е.

$$\Omega_1 \cap \Omega_2 \dots \Omega_n = \emptyset,$$

можно установить приоритеты выбора, исходя из требования снижения, в первую очередь, наиболее вредных компонентов продуктов сгорания. Наиболее токсичными являются монооксида азота и углерода.

На практике сбор данных о функционировании системы проводится в начале работы системы управления. При этом на вход объекта подаются тестовые значения концентраций, а по окончании переходных процессов измеряются и сохраняются значения выходных величин, на основе которых затем определяются коэффициенты полиномов статических характеристик.

Первые два из установленных выше выводов и уравнение (3) критериев оптимизации позволяют в случаях, когда найденный рабочий интервал концентраций включает интервал экстремального поведения удельного расхода топлива, использовать экстремальные алгоритмы управления. За счет применения экстремальных алгоритмов можно повысить эффективность

системы управления при изменении нагрузочного и скоростного режима функционирования энергетической установки, а также при изменении ее параметров в процессе функционирования.

Все вышеизложенное можно представить алгоритмом управления, представленном на рис. 7.

При разработке алгоритмов экстремального регулирования необходимо учитывать время запаздывания отклика объекта на входное воздействие (изменение концентрации воды в ВТЭ).

Более жесткие требования при учете динамики объекта предъявляются к алгоритмам контура стабилизации. Для систем подготовки ВТЭ непрерывного действия эта задача стоит наиболее остро, т.к. они входят в состав аппаратуры подачи топлива энергетических установок (котлов, дизельных двигателей, и т.д.), в которых времена установления выходных величин (давления, расхода, температуры) строго ограничены.

Для построения оптимальной по быстродействию системы стабилизации необходимо иметь математическую модель объекта управления.

Объектом управления для контура стабилизации является диспергатор — смеситель.

С точки зрения управления, это одностепенный объект регулирования. Входные величины для этих объектов — объемные расходы воды $q_{W\text{in}}$ и топлива $q_{F\text{in}}$. Выходной величиной является концентрация c_W воды в ВТЭ, а для систем непрерывного действия и расход ВТЭ q_{out} на выходе диспергатора.

Рассмотрим динамическую модель объекта и сформулируем требования к построению контура стабилизации. Уравнения материального баланса, втекающих объемных расходов компонентов, имеют вид

$$\begin{cases} \frac{dV_F}{dt} = q_{F\text{in}} - q_{F\text{out}} = q_{F\text{in}} - (1 - c_W)q_{\text{out}}; \\ \frac{dV_W}{dt} = q_{W\text{in}} - q_{W\text{out}} = q_{W\text{in}} - c_W q_{\text{out}}. \end{cases}$$

Считая, что концентрация на выходе смесителя определяется лишь отношением объемов компонентов внутри емкости, получаем

$$\frac{dc_W}{dt} = \frac{\frac{dV_W}{dt}}{\left(\frac{dV_W}{dt} + \frac{dV_F}{dt}\right)} = \frac{q_{W\text{in}} - c_W q_{\text{out}}}{q_{W\text{in}} + q_{F\text{in}} - q_{\text{out}}}.$$

Окончательно получаем уравнение концентрации воды в ВТЭ на выходе смесителя:

$$(q_{W\text{in}} + q_{F\text{in}} - q_{\text{out}}) \frac{dc_W}{dt} + q_{\text{out}} c_W - q_{W\text{in}} = 0. \quad (4)$$

Время разгона объекта определяется объемом рабочей области диспергатора, плотностью и вязкостью компонент. Это замечание можно использовать при проектировании системы подготовки ВТЭ (очевидно уменьшение размеров диспергатора и предварительная подготовка (подогрев) компонент).

Наиболее важные замечания относительно структуры системы управления можно получить на основе анализа выражения (4).

Очевидно, что наилучшими показателями по точности управления и надежности будет об-

Р и с. 7. Алгоритм управления концентрацией воды в ВТЭ

ладать замкнутая система с датчиком концентрации воды в ВТЭ и датчиком расхода ВТЭ, установленными на выходе диспергатора. Недостатками такой структуры является:

отсутствие в настоящее время стандартных датчиков концентрации воды в ВТЭ;
 влияние концентрации воды (плотность и вязкость ВТЭ) на показания датчика расхода ВТЭ (наиболее распространенных — ультразвукового или вихревого типа).

Наиболее простой с точки зрения реализации, доступности и стоимости компонентов (датчиков), но наименее точной является разомкнутая система стабилизации по втекающим объемным расходам топлива и воды. Разомкнутая система стабилизации была разработана и испытана для основных котлов танкеров. Время установления концентрации на уровне 2% от требуемой составляло 180 – 200 с. Такие показатели системы вполне удовлетворяют по параметру скорости выхода на номинальную производительность по пару. Однако для оптимизации в процессе функционирования это время необходимо снижать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 442 с.
2. Павлова Е.И. Экология транспорта: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. 326 с.

Поступила 16.03.2003 г.

УДК 620.9.603.13

Д. С. Колмыков, А. А. Гаврилова

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Рассмотрены различные по структуре модели идентификации региональной системы энергопроизводства как сложной производственно-экономической системы. Проведены расчеты и анализ параметров, показателей качества и аппроксимативных свойств моделей энергосистемы на основе производственных функций на различных временных интервалах.

В общем виде модель функционирования сложных производственно-экономических систем (СПЭС) можно представить процессом преобразования множества разнородных с экономической и технологической точек зрения ресурсов в некоторое множество конечных продуктов (рис. 1).

Р и с. 1. Общий вид модели СПЭС

Переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$ — это совокупность показателей входных ресурсов, в дальнейшем обозначаемых как вектор

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

а $y_1, y_2, \dots, y_m$ — перечень выпускаемой продукции, обозначенный через вектор

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m). \quad (2)$$

В этом случае задачей идентификации модели СПЭС является определение структурных и количественных связей между входными ресурсами X и выпускаемой продукцией Y , расчет и анализ показателей качества и аппроксимативных свойств модели.

В качестве моделей СПЭС взят класс производственных функций (ПФ), являющийся одной из форм математических моделей для описания процессов функционирования СПЭС. Непосредственным объектом моделирования для ПФ являются процессы производства продукции в реально функционирующих в течение определенного времени хозяйственных системах — на предприятии, в объединении, отрасли, регионе или в народном хозяйстве в целом. В ряде случаев в качестве самостоятельного объекта моделирования может рассматриваться не вся хозяйственная система, а ее часть, состоящая из технологически относительно однородных единиц.