

УДК 621.1

С.А. Андреев, канд. техн. наук
Е.А. Петрова

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО БАЛАНСА КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

При разработке котлов с озоновым наддувом необходимо располагать информацией об установившейся концентрации озона в топочной камере. Не менее важно знать ожидаемые значения концентрации озона в различные моменты времени и при различных режимах горения топлива. Эта информация позволяет правильно управлять работой котла: согласовывать интенсивность наддува и концентрацию первичного потока озона с его потреблением и конечной концентрацией в топочной камере. Очевидно, что явления накопления и расходования озона являются инерционными и для их описания требуются уравнения динамического баланса.

Сложность математического моделирования процесса заключается в том, что поступление озона в область горения и его расход являются взаимосвязанными величинами. С одной стороны, подача озона интенсифицирует горение, с другой — интенсифицированное горение требует большего количества озона [1]. Таким образом, при ограниченной подаче озона видимый эффект стимуляции пламени может не произойти.

Для упрощения исследуемой картины следует считать, что образование и разложение озона линейным образом связаны с количеством образовавшихся молекул. Тогда динамика образования и потребления озона могут быть описаны системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = kN - k_1Nx \\ \frac{dx}{dt} = k_2N \end{cases}, \quad (1)$$

где N — количество образовавшихся молекул озона; x — требуемое количество молекул озона; k , k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности, $\frac{dN}{dt}$ — итоговая скорость изменения концентрации озона; $\frac{dx}{dt}$ — скорость изменения потребности в озоне.

Правая часть первого уравнения системы (1) характеризует разность скоростей: скорости образования озона kN и скорости его разложения k_1Nx . При этом уменьшаемое представляет собой линейную функцию от количества образовавшихся молекул, а вычитаемое — линейную функцию от произведения этого количества и требуемого количества озона.

Разделив обе части первого уравнения системы (1) на соответствующие части второго, получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{dNdt}{dtdx} = \frac{kN}{k_2N} - \frac{k_1Nx}{k_2N} \text{ или } \frac{dN}{dx} = \frac{k}{k_2} - \frac{k_1}{k_2}x,$$

откуда в результате интегрирования выразим количество молекул:

$$N = \frac{k}{k_2}x - \frac{k_1}{2k_2}x^2 + C_1.$$

Принимая во внимание начальные условия ($x = 0$ при $N = 0$, откуда $C_1 = 0$), найдем связь между количеством образовавшихся молекул озона и их требуемым количеством:

$$N = ax - bx^2, \quad (2)$$

где применены следующие обозначения:

$$a = \frac{k}{k_2} \text{ и } b = \frac{k_1}{2k_2}. \quad (3)$$

График функции $y = N(x)$ представляет собой параболу, проходящую через начало координат и через точку $A\left(\frac{a}{b}; 0\right)$, с осью симметрии, параллельной оси ординат, и с вершиной в точке $O_1\left(\frac{a}{2b}; \frac{a^2}{4b}\right)$. Следовательно,

$$N_{\max} = M = \frac{a^2}{4b} = \frac{k^2}{2k_1k_2}. \quad (4)$$

Для определения зависимости количества молекул озона от времени t преобразуем равенство (2) к виду: $bx^2 - ax + N = 0$ и разрешим его относительно x :

$$x = \frac{a}{2b} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4b^2} - \frac{N}{b}}.$$

Подставим эту зависимость, выраженную через N , в первое уравнение системы (1). Тогда

$$\frac{dN}{dt} = kN - \frac{k_1a}{2b}N \mp k_1N\sqrt{\frac{a^2}{4b^2} - \frac{N}{b}}. \quad (5)$$

Принимая во внимание соотношения (3) и (4) замечаем, что первые два компонента в правой части взаимно уничтожаются, а последний равен

$$\mp kN\sqrt{1 - \frac{N}{M}}.$$

Поэтому уравнение (5) запишется так:

$$\frac{dN}{dt} = \mp kN \sqrt{1 - \frac{N}{M}}$$

Последнее выражение представляет собой дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. После преобразования этого уравнения получим

$$\frac{dN}{N \sqrt{1 - \frac{N}{M}}} = \mp k dt \tag{6}$$

Интеграл $I = -2 \int \frac{dN}{N \sqrt{1 - \frac{N}{M}}}$ вычислим с помо-

щью подстановки $\sqrt{1 - \frac{N}{M}} = y$, из которой следует, что $N = M(1 - y^2)$, а $dN = -2Mydy$. Поэтому

$$I = -2 \int \frac{dy}{1 - y^2} = \ln \frac{1 - y}{1 + y} + C_2.$$

Таким образом, общий интеграл уравнения (6) имеет вид

$$\ln \frac{1 - y}{1 + y} + C_2 = \mp kt.$$

Произвольное постоянное C_2 определим из начального условия $N = M$ при $t = 0$. В результате обнаруживается, что $y = 0$, а, следовательно, $C_2 = 0$. Таким образом, частный интеграл уравнения (6) примет вид

$$\frac{1 - y}{1 + y} = e^{\mp kt},$$

откуда

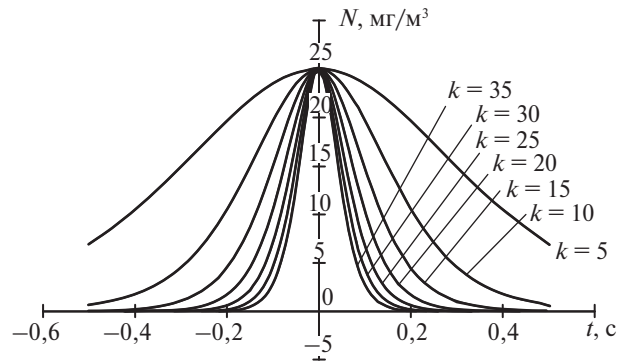
$$y = \frac{e^{\pm kt/2} - e^{\mp kt/2}}{e^{\pm kt/2} + e^{\mp kt/2}}, \text{ или } y = \pm th \frac{kt}{2}.$$

Возведя обе части последнего уравнения в квадрат и разрешив его относительно N , получим

$$N = M \left(1 - th^2 \frac{kt}{2} \right) \text{ или } N = \frac{M}{ch^2(kt/2)}. \tag{7}$$

Из последнего выражения следует, что фактическое количество молекул озона в топочной камере сначала возрастает до некоторого наибольшего значения M , а затем убывает до нуля, поскольку интенсифицированное горение потребует увеличенного количества озона (рисунок). Подобное поведение функции наблюдают в биологических системах, в которых рост популяции определенного вида организмов при достижении некоторого максимума сменяется уменьшением. При этом в результате такого уменьшения популяция может полностью исчезнуть.

Примечательно, что функция (7) является четной с экстремумом при $t = 0$. Однако это не означает, что по оси абсцисс соответствующего графика откладываются отрицательные значения времени.



Динамика изменения концентрации озона при различных условиях его образования и разложения

При построении графика в качестве центра координатной плоскости была выбрана стационарная точка с абсциссой, равной нулю. Варьированием величинами коэффициентов k , k_1 и k_2 , а также периодическим прерыванием процесса подачи озона можно существенно повысить энергетическую эффективность процесса (достичь той же концентрации озона при меньшем расходе энергии на работу озонатора).

На практике влиять на коэффициенты k , k_1 и k_2 можно только до некоторого предела, определяемого конструктивными параметрами озонатора, воздуховода и топочной камеры. Безусловно, эта мера заслуживает внимания, однако гораздо больший интерес представляет перспектива повышения концентрации озона за счет периодичности его подачи. Здесь можно провести аналогию между изучаемым явлением и некоторыми другими физическими процессами. Например, импульсной подачей теплоносителя в систему отопления, импульсного подвода электроэнергии к заряжаемому аккумулятору, периодическому заряду-разряду конденсатора в системе преобразования тепловой энергии в электрическую и некоторыми другими. По-видимому, при всех различиях в физической сущности эти явления объединяются некоторыми сходными свойствами. Для достижения положительного эффекта очень важно «угадать» количественные характеристики импульсного воздействия. Главной такой характеристикой является частота. Очевидно, что частота внешних воздействий окажется связанной как с их амплитудой, так и с динамическими свойствами самого материального объекта.

Динамика изменения концентрации озона в топочной камере при его импульсной подаче может рассматриваться как переходный процесс в некоторой автоколебательной замкнутой аддитивной системе [2]. При этом расчет такой системы может осуществляться либо в операторной форме (с использованием метода гармонического баланса), либо с применением дискретных преобразований.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Уравнение баланса подачи и расхода озона в топочную камеру котла является динамическим и для его составления можно использовать выражения в дифференциальной форме.

2. Зависимость концентрации озона от интенсивности горения является сложной функцией. При этом рассматриваемые величины характеризуются как прямым, так и обратным влиянием.

3. По мере подачи озона в топочную камеру сначала происходит увеличение его концентрации, а затем — снижение. Экстремальный характер исследуемой зависимости может быть объяснен явлением интенсификации горения и связанным с ним повышением потребности в окислителе.

4. Поддержание высокого уровня концентрации озона при минимуме энергетических затрат может быть достигнуто за счет работы озонатора в импульсном режиме.

Список литературы

1. Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК // Международный научный журнал. — 2011. — № 5. — С. 83–91.

2. Андреев С.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающий способ повышения эффективности газовых котлов // Опыт и проблемы управления модернизацией инновационной деятельности в социально-экономических и технических системах: монография. — Пенза: РИО ПГСХА, 2012. — С. 71–93.

УДК 621.629.3; 669.54.793

С.К. Тойгамбаев, канд. техн. наук

С.Н. Романюк

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

С.О. Нукешев, доктор техн. наук

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфулина, Республика Казахстан

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РОЛИКОВЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Несмотря на определенные трудности, которые сложились в производстве ремонта сельскохозяйственных, транспортных и технологических машин, продолжают решаться вопросы совершенствования существующих технологических процессов восстановления деталей и узлов данных машин, а также разработка новых процессов их ремонта. Применение прогрессивных технологий при восстановлении изношенных деталей в 5...8 раз сокращает количество операций по сравнению с их изготовлением, в 10...20 раз снижается расход материалов. В результате применения ремонтных технологий себестоимость восстановления многих деталей составляет 60...80 % от себестоимости новых. В настоящее время разработка новых технологий ремонта изношенных деталей или совершенствование существующих восстановительных операций становятся еще более актуальными, потому что стоимость новых машин такова, что во многих случаях эксплуатирующие организации зачастую не имеют возможности их приобретения.

Большинство деталей сельскохозяйственных, транспортных и технологических машин выходят из строя из-за потери функциональных свойств, связанных с износом сопрягаемых поверхностей. Поэтому, как правило, рекомендуемые ремонтные технологии связаны с восстановлением изношен-

ных поверхностей до их номинального размера, при этом одновременно ставится задача повысить износостойкость восстанавливаемой поверхности по сравнению с заводской (новой) деталью. Это особенно важно при ремонте деталей, изготовленных из достаточно дефицитных материалов. К таким материалам относятся цветные сплавы, в основном, бронзовые сплавы. Чаще всего конструкции этих деталей представляют собой бронзовые подшипники скольжения в виде втулок.

Бронзовые подшипниковые втулки нашли широкое применение в сельскохозяйственных, транспортных и технологических машинах. Они способны воспринимать значительные знакопеременные нагрузки, выдерживать высокие скоростные и температурные режимы, работать в условиях недостаточной смазки, в присутствии абразива, воды и других агрессивных сред, благодаря низкому коэффициенту трения, хорошей сопротивляемости износу и коррозии, высоким механическим и технологическим свойствам [1, 2]. Указанные преимущества позволяют использовать бронзовые подшипниковые втулки в двигателях (втулка верхней головки шатуна, втулка турбокомпрессора), в тяжело нагруженных узлах трения — это втулки опорных и поддерживающих катков, подъемных стрел, поворотной платформы экскаватора, втулки балансиров, опорных кареток и натяжных колес тракторов.