

но-управляющие функции автоматизированных агротехнологических процессов.

3. Система видеонаблюдения повышает эффект присутствия специалиста в зонах производства, обеспечивает пристальное внимание к состоянию интересующего объекта и позволяет осуществлять постоянный контроль за его поведением, а следовательно, осуществлять эффективное управление.

#### Список литературы

1. Левшин А.Г., Башилов А.М., Головкин В.А. Автоматическое пилотирование и диспетчеризация мобиль-

ных агрегатов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2011. — № 2. — С. 18–22.

2. Принципы построения и варианты реализации систем электроснабжения, навигации и управления движением перспективных агроагрегатов / Д.С. Стребков, А.М. Башилов, В.А. Королёв, В.З. Трубников // Ползуновский вестник. — 2011. — № 2–2. — С. 280–284.

3. Башилов А.М., Королёв В.А. Видеонаблюдение и навигация в системах точного земледелия // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2009. — № 3(34). — С. 7–11.

4. Башилов А.М. Проект управления аграрным производством на основе систем видеомониторинга // Техника и оборудование для села. — 2010. — № 10. — С. 46–48.

УДК 621.18:621.348.52

*С.А. Андреев, канд. техн. наук*

*Е.А. Петрова*

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

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ОЗОНАТОРОМ

Озон, являясь сильным окислителем, способен существенно интенсифицировать процесс горения органического топлива. На этом явлении, а также, принимая во внимание дешевизну получения озона, был разработан способ повышения эффективности горения в топочных камерах водогрейных котлов [1]. Для успешной реализации способа концентрация озона не должна выходить за установленные пределы.

Установлено, что при сжигании природного газа наилучшие результаты достигаются при концентрации озона на уровне 60...150 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация озона в топочной камере при неизменной его подаче не остается постоянной. На величину концентрации озона влияют текущие свойства газа, интенсивность отвода продуктов сгорания, а также интенсивность самого процесса горения. Становится очевидным, что при реализации способа интенсификации горения концентрацией озона следует управлять. Искусственное управление концентрацией может быть легко достигнуто за счет изменения расхода подаваемого озона. А это, в свою очередь, можно сделать, изменяя производительность озонатора.

Для практического управления процессом необходимо знать количественные характеристики взаимосвязи перечисленных факторов. Во избежание заблуждений при теоретическом толковании изучаемых явлений эту взаимосвязь целесообразно установить экспериментально, поэтому можно экспериментально определить зависимость концентрации озона в топочной камере  $Y$  от интенсивности горения  $X_1$ , с одной стороны, и производительность озонатора  $X_2$  — с другой. Получив такую

зависимость, окажется возможным составление количественных предписаний (алгоритма) для управления процессом в производственных условиях.

Для определения массового содержания озона в воздушной среде экспериментальной камеры использовался диффузионный измеритель концентрации озона типа НТИКО-1 с газовым сенсором MEMBRAPOR. В исследуемом диапазоне концентрации озона этот прибор имеет разрешение 0,8 мг/м<sup>3</sup> при погрешности  $\pm 20\%$ . Длительность переходного процесса при осуществлении измерений составляет 15...20 с. Процесс формирования концентрации озона в экспериментальной камере после изменения величин  $X_1$  и  $X_2$  является динамическим. При этом длительность переходного процесса может достигать нескольких минут. Однако в целях упрощения эксперимента производилось измерение установившегося значения концентрации, формирующееся в течение 300 с. Таким образом, в качестве исследуемой функции выступало значение экспериментально замеренной концентрации озона  $K = Y$ .

В качестве количественной характеристики интенсивности горения из ряда тепловых, химических и других величин был сделан выбор в пользу светового потока. Использование для этой цели температуры внутри камеры было отклонено, так как она зависит не только от интенсивности горения, но и от условий окружающей среды. Оценка интенсивности горения по химическому составу продуктов сгорания неудобна и также не является вполне объективной. В то же время световой поток определяется пламенем горения и может быть определен по косвенному показателю, например,

Таблица 1

Значения концентрации озона в зависимости от напряжения питания озонатора и светового потока, мг/м<sup>3</sup>

| U, В    | Φ, лм |       |       |      |      |      |      |      |
|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|         | 75    | 100   | 150   | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  |
| 3м/млК, | 225,2 | 180,2 | 121,5 | 94,3 | 85,9 | 77,5 | 67,0 | 58,7 |
| 200     | 215,8 | 169,7 | 119,4 | 90,1 | 79,6 | 69,1 | 62,0 | 56,5 |
| 180     | 203,2 | 165,5 | 100,6 | 88,0 | 75,4 | 67,0 | 58,7 | 52,4 |
| 160     | 165,5 | 115,2 | 85,9  | 67,0 | 58,7 | 52,4 | 46,1 | 41,9 |
| 140     | 52,4  | 39,8  | 27,2  | 23,0 | 18,9 | 18,9 | 18,9 | 18,9 |

по количеству одиночных очагов горения. В данном опыте такими очагами являлись однотипные восковые свечи с длиной фитиля 0,25, 0,50 и 1,0 см. При горении одной свечи с длиной фитиля 1,0 см развивается световой поток примерно 100 лм. Пламя свечи с длиной фитиля 0,5 см образует световой поток в 50 лм, а с длиной 0,25 см — 25 лм.

Обозначение свечей по длине фитиля: 0,25 см —  $Z_1$ , 0,5 см —  $Z_2$  и 1,0 см —  $Z_3$ . Комбинируя видами и количеством размещаемых в экспериментальной камере свечей, оказалось возможным сформировать следующий ряд потоков: 75 лм —  $(Z_2 + Z_1)$ , 100 лм —  $(Z_3)$ , 150 —  $(Z_3 + Z_2)$ , 200 лм —  $(2Z_3)$ , 250 лм —  $(2Z_3 + Z_2)$ , 300 лм —  $(3Z_3)$ , 350 лм —  $(3Z_3 + Z_2)$ , 400 лм —  $(4Z_3)$ , 450 лм —  $(4Z_3 + Z_2)$ . Таким образом, в эксперименте были использованы по одной свече с длиной фитиля 0,25 и 0,5 см и четыре свечи с длиной фитиля 1,0 см. В качестве показателя интенсивности горения в эксперименте принимался световой поток:  $\Phi = X_1$ .

Для озонирования среды в топочных камерах водогрейных котлов предлагалось применять электрические озонаторы, использующие явление барьерного разряда [2]. В проведенных опытах использовался лабораторный озонатор типа ТОГ-В2. Производительность такого озонатора зависит от условий протекания разряда, и, в первую очередь, от напряжения на коронирующих электродах. Поскольку варьирование высоким напряжением является непростой технической задачей, в описываемом эксперименте изменялось и фиксировалось напряжение на первичной обмотке повышающего трансформатора. Исходя из однозначной и почти линейной зависимости производительности электроозонатора от этого напряжения, его значение принималось за исследуемый фактор:  $U = X_2$ .

Для выявления количественной зависимости концентрации озона от режима работы генератора озона и интенсивности горения был проведен двухфакторный эксперимент, в ходе которого осуществлялось варьирование напряжением питания на первичной обмотке повышающего трансформатора озонатора в пределах от 140 до 220 В и световым потоком в пределах от 75 до 400 лм. Результаты эксперимента сведены в табл. 1.

По полученным экспериментальным данным найдена эмпирическая зависимость  $K = f(U; \Phi)$ . Поскольку влияние каждого исследуемого фактора явно нелинейно, определение эмпирической зависимости осуществлялось в два этапа. На первом из них производился поиск модели вида  $K = f_1(a, b, \Phi)$  при  $U = 140; 160; 180; 200; 220$  В, на втором — поиск моделей  $a = f_2(c; d; U)$  и  $b = f_3(f; e; U)$ , где  $a, b, c, d, e, f$  — параметры эмпирических формул.

Выбор вида эмпирической зависимости производился из условия максимальной точности воспроизведения экспериментальных данных при минимальном количестве входящих в нее параметров [3]. В процессе выбора эмпирической формулы были рассмотрены следующие двухпараметрические функции:

$$\text{линейная } K = a\Phi + b; \quad (1)$$

$$\text{показательная } K = ab^{\Phi}; \quad (2)$$

$$\text{дробно-рациональная } K = \frac{1}{a\Phi + b}; \quad (3)$$

$$\text{логарифмическая } K = a \ln \Phi + b; \quad (4)$$

$$\text{степенная } K = a\Phi^b; \quad (5)$$

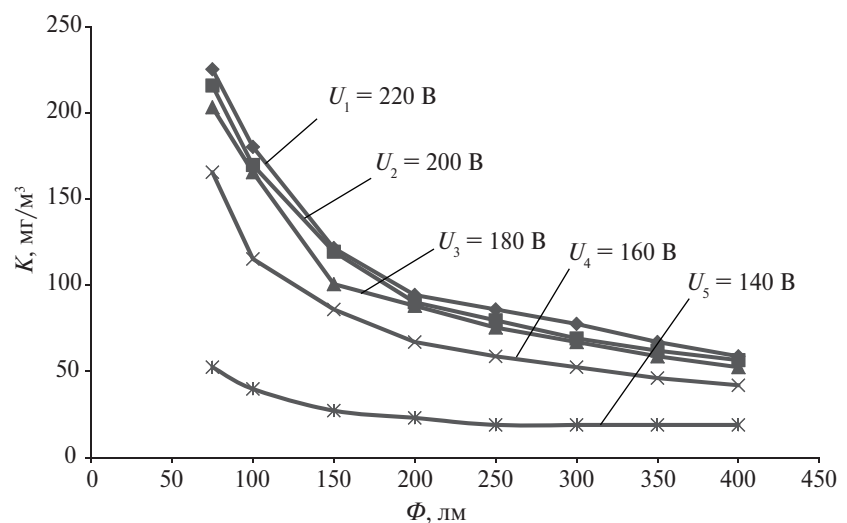


Рис. 1. Зависимость концентрации озона от светового потока и напряжения на первичной обмотке повышающего трансформатора

гиперболическая  $K = a + \frac{b}{\Phi}$ ; (6)

сложная дробно-рациональная  $K = \frac{x}{a\Phi + b}$ . (7)

При этом были выполнены следующие промежуточные вычисления [4]. Массив экспериментальных данных из табл. 1 представлялся точкам в координатных осях  $K$  и  $\Phi$ , как показано на рис. 1.

Отложенные точки соединялись произвольными кривыми до получения графика  $K=f(\Phi)$ . На заданном отрезке изменения независимой переменной (светового потока) выбирались крайние точки  $\Phi_1 = 75$  лм и  $\Phi_2 = 400$  лм, по которым определялись

их среднее арифметическое  $\Phi_{cp} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2}$ , среднее

геометрическое  $\Phi_{геом} = \sqrt{\Phi_1\Phi_2}$  и среднее гармоническое  $\Phi_{гарм} = \frac{2\Phi_1\Phi_2}{\Phi_1 + \Phi_2}$ .

В соответствии с вычисленными значениями независимой переменной по графику на рис. 2 определялись значения зависимой переменной (концентрации озона)  $K_1, K_2$  и  $K_3$ .

Для значений зависимой переменной  $K_1$  и  $K_2$ , соответствующих точкам  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , рассчитывались их среднее арифметическое  $K_{cp} = \frac{K_1 + K_2}{2}$ , среднее

геометрическое  $K_{геом} = \sqrt{K_1K_2}$  и среднее гармоническое  $K_{гарм} = \frac{2K_1K_2}{K_1 + K_2}$ . В результате сравнения зна-

чений зависимой переменной, найденных из графика рис. 1  $K_1^x, K_2^x$  и  $K_3^x$  с вычисленными значениями  $K_{cp}, K_{геом}$  и  $K_{гарм}$ , определена величина ошибок  $\epsilon_1$  как  $\epsilon = |K_1^x - K_{cp}|, \epsilon_2 = |K_2^x - K_{cp}|, \epsilon_3 = |K_3^x - K_{cp}|, \epsilon_4 = |K_4^x - K_{cp}|, \epsilon_5 = |K_5^x - K_{cp}|, \epsilon_6 = |K_6^x - K_{cp}|, \epsilon_7 = |K_7^x - K_{cp}|$ .

Вид эмпирической зависимости из совокупности (1)–(7) определялся по номеру минимальной ошибки  $\epsilon_{min}$  из ряда  $\epsilon_1... \epsilon_7$ . Максимальную точность воспроизведения экспериментальных данных для большинства исследуемых напряжений обеспечи-

вает гиперболическая функция  $K = a + \frac{b}{\Phi}$ . Пара-

метры  $a$  и  $b$ , найденные для нее методом наименьших квадратов, помещены в табл. 2.

Аналогичным образом определялись формулы для описания нелинейных зависимостей  $a=f_2(c, d, U)$  и  $b=f_3(e, f, U)$  в виде гиперболических

функций  $a = c + \frac{d}{U}$  и  $b = e + \frac{f}{U}$ . Графические зави-

симости  $a = \varphi_1(U)$  и  $b = \varphi_2(U)$  представлены на рис. 2 и 3 соответственно. Значения параметров  $c, d, e$  и  $f$ ,

**Значения параметров функции  $K = f(\Phi)$  при различных напряжениях на первичной обмотке повышающего трансформатора**

|             |       |       |       |       |      |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|
| <b>U, В</b> | 220   | 200   | 180   | 160   | 140  |
| <b>a</b>    | 22,76 | 19,72 | 17,72 | 13,99 | 8,43 |
| <b>b</b>    | 15245 | 14792 | 14028 | 10919 | 3191 |

вычисленные методом наименьших квадратов, оказались равными 47,49;  $-5,439 \cdot 10^3$ ;  $3,764 \cdot 10^4$  и  $-4,565 \cdot 10^6$ .

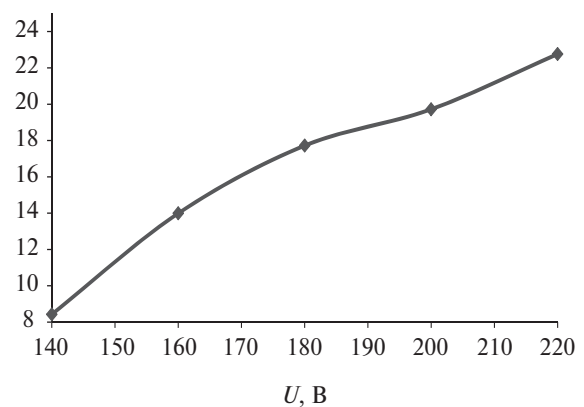
Таким образом, эмпирическая зависимость  $K=f(U; \Phi)$  имеет вид

$$K = 47,49 - \frac{5439,66}{U} + \frac{37648,33 - \frac{4564712,3}{U}}{\Phi}.$$

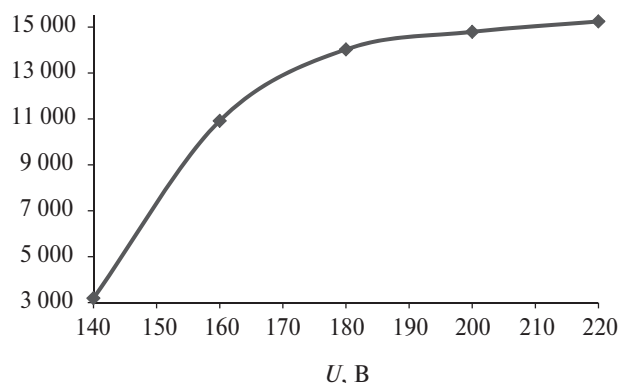
Полученная зависимость удовлетворительно воспроизводит исходные данные при средней погрешности 14,7%. В результате преобразования последнего выражения относительно  $U$  получим

$$U = \frac{5,4 \cdot 10^3 \cdot \Phi + 4,56 \cdot 10^6}{3,7 \cdot 10^4 - (K - 47,49)\Phi}.$$

Последнее выражение представляет собой алгоритм управления озонатором для обеспечения



**Рис. 2. Графическая зависимость  $a = \varphi_1(U)$  от напряжения**



**Рис. 3. График зависимости коэффициента  $b = \varphi_2(U)$  от напряжения на первичной обмотке трансформатора**

интенсификации горения в пределах концентрации озона от 20 до 220 мг/м<sup>3</sup> при световом потоке пламени от 75 до 400 лм. Для обеспечения оперативной реализации разработанного алгоритма при ручном управлении озонатором построена номограмма, представленная на рис. 4.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. При повышении эффективности сжигания топлива посредством озонирования среды в топочной камере необходимо производить коррекцию режимов работы озонатора в зависимости от требуемых параметров и условий горения.

2. Управление работой озонатора может быть достигнуто за счет изменения напряжения на первичной обмотке повышающего трансформатора в соответствии с полученным алгоритмом или по номограмме.

3. При использовании озонатора другой модели определение алгоритма управления может быть осуществлено по описанной методике.

#### 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.

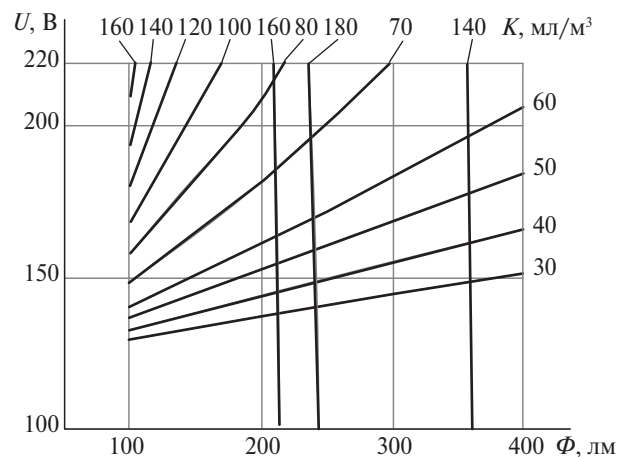


Рис. 4. Номограмма зависимости напряжения на первичной обмотке озонатора от концентрации озона и интенсивности горения

2. Пат. № 119860 Российская Федерация. Отопительный котел / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Нормов Д.А. — № 2012110351/06; Заявл. 20.03.2012, опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.

3. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. — М.: Наука, 1970. — 368 с.

4. Численные методы / Н.Л. Данилина, Г.Н. Дубровская, О.П. Кваша [и др.]. — М.: Высшая школа, 1986. — 254 с.

УДК 621. 629.3; 669.54. 793

С.К. Тойгамбаев, канд. техн. наук

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

## ПРОЕКТ МОЕЧНОЙ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Мойка — одна из важнейших технологических операций ремонта. От качества мойки зависит качество дефектации и ремонта, производительность труда ремонтных рабочих, ресурс отремонтированной машины и общий уровень технической культуры ремонтного предприятия. Для выполнения комплекса уборочно-моечных работ автомобилей на автотранспортных предприятиях используется разнообразное моечное оборудование и технологическая оснастка [1–5].

К моечному относится оборудование, обеспечивающее удаление загрязнений с наружных поверхностей автомобилей, нанесение защитных материалов на лакокрасочные покрытия и сушку автомобилей после мойки, а также очистки днища автомобилей перед проведением операции технического обслуживания и ремонта. Отдельную группу составляет оборудование для мойки и очистки агрегатов и деталей автомобилей при ремонте, в том числе в условиях АТП.

Необходимость применения специализированного механизированного оборудования для мойки автомобилей подтверждается тем, что удельный вес моечных работ составляет 55 % для легковых автомобилей, 35 % — для автобусов и 65 % — для грузовых автомобилей от общей трудоёмкости.

В настоящее время известны различные способы очистки поверхностей, в числе которых механический, струйный, ультразвуковой, химический, электрохимический, биологический и др. Однако применение некоторых способов для очистки больших объектов вызывает значительные технические и технологические трудности и в большинстве случаев на данном этапе экономически не оправданы. Для удаления загрязнений с поверхности автомобиля сейчас наиболее приемлем механический способ очистки, который реализуется различными приемами. Для мойки автомобилей в условиях АТП наибольшее распространение получили два способа: