

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ*

А.Г. Щипицын, О.С. Ваулина

Для решения проблемы защиты окружающей среды требуется комплекс мероприятий, включающих разработку и внедрение современных установок для очистки, переработки и утилизации, неиспользуемых по техническим или экономическим причинам жидких промышленных отходов.

В настоящее время, в условиях рынка, для небольших предприятий нецелесообразно использование крупных установок. С другой стороны, ужесточились требования по экологической безопасности производства: возросли штрафы за загрязнение окружающей среды. Одним из решений проблемы является разработка мобильных малорасходных энергетических установок для утилизации жидкостей (в частности: углеводородные жидкости, жидкие промышленные отходы, содержащие углеводороды, негорючие жидкости и механические примеси, неспособные к самостоятельному горению) и создание систем для обеспечения оптимального управления теплофизическими процессами в этих установках.

Анализ состояния исследуемой проблемы показал, что существует большое количество исследований, посвященных следящим системам управления по давлению различными техническими объектами (двигательными установками). Однако исследования систем управления технологическим процессом утилизации на основе применения аппарата нечеткой логики в условиях неопределенности состава производственных отходов отсутствуют. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно.

Разработана и изготовлена установка для термического обезвреживания жидких промышленных отходов, основными элементами которой являются: газогенератор, реактор, скруббер Вентури и каплеуловитель.

В процессе функционирования установки для утилизации жидких промышленных отходов могут возникать колебания давления на входе в реактор при докритическом истечении газа или жидкости. Это ведет к возникновению отклонения системы от устойчивого положения. Кроме того, для устойчивого горения и полного сгорания компонентов

топлива в установках для утилизации необходимо обеспечивать постоянное соотношение массовых расходов компонентов. А также возможно колебания соотношения массовых расходов компонентов из-за случайного изменения в смеси массовых долей воды и твердого вещества. Поскольку в смеси продуктов сгорания присутствуют вредные для окружающей среды вещества, то возникает задача обеспечения безопасной концентрации вредных примесей в пределах рабочей зоны установки. Поэтому актуальной задачей является разработка системы управления технологическим процессом утилизации на основе аппарата нечеткой логики и алгоритма оптимального управления установкой позволяющего минимизировать отклонение системы от устойчивого положения, вызванного различными факторами. Модель системы управления на нечеткой логике позволяет решать задачи управления теплофизическими процессами в условиях неопределенности и неоднородности состава сжигаемых жидкостей, причем математического описания объекта при этом не требуется.

Построена модель системы управления на нечеткой логике, которая позволяет установке работать в условиях устойчивого горения и полного сгорания масла И-40 с примесями неопределенного состава, дает возможность ограничить вредные выбросы до предельно допустимой концентрации и осуществляет плавное управление соотношением массовых расходов на основе апостериорной информации о массовых долях воды и твердых частиц в отходах.

Разработанная система оптимального управления позволяет ограничить вредные выбросы до предельно допустимой концентрации и осуществляет плавное управление соотношением массовых расходов при утилизации только индустриального масла И-40 с примесями неопределенного состава. Но данная система управления не работает с широким диапазоном утилизируемых жидкостей. Поэтому требуется провести дополнительные теоретические и экспериментальные исследования для расширения базы знаний и базы данных системы оптимального управления на основе нечеткой логики.

1. Экспериментальные исследования вредных выбросов из дымовой трубы установки

Используя газоанализатор Testo 300M получены следующие зависимости измеряемых компо-

* При финансовой поддержке молодых российских ученых - кандидатов наук Президентом Российской Федерации

нентов газа и температуры газа от процентного содержания воды в углеводородсодержащих жидкостях (УЖ) (рис. 1-5, табл. 1-3).

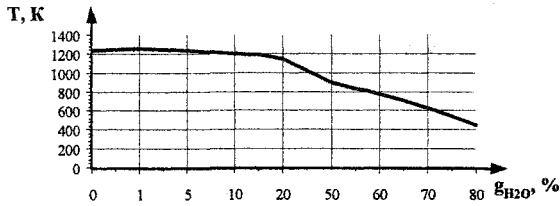


Рис. 1. График зависимости температуры газа от процентного содержания воды в УЖ

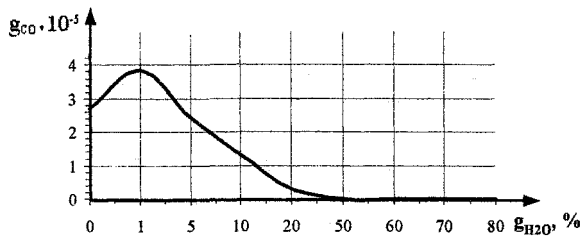


Рис. 2. График зависимости значений весовых долей оксида углерода от процентного содержания воды в УЖ

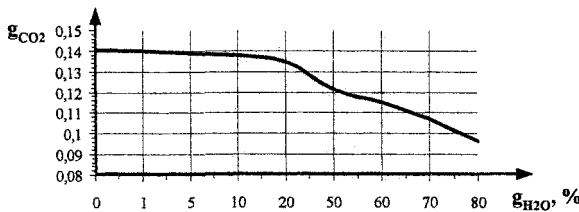


Рис. 3. График зависимости значений весовых долей диоксида углерода от процентного содержания воды в УЖ

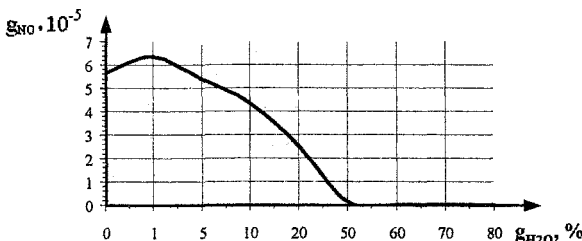


Рис. 4. График зависимости значений весовых долей оксида азота от процентного содержания воды в УЖ

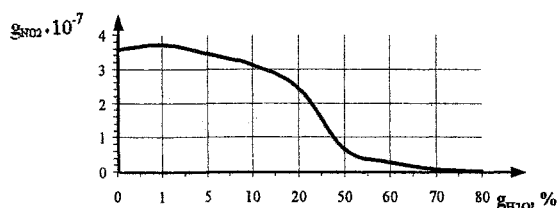


Рис. 5. График зависимости значений весовых долей диоксида азота от процентного содержания воды в УЖ

Данные, полученные с газоанализатора и изображенные на рис. 1-5, являются входными переменными системы управления, основанной на ап-

парате нечеткой логики (СУНЛ). Для получения желаемых показателей на выходе системы необходимо провести термодинамический расчет.

2. Термодинамический расчет реактора установки

С целью выяснения состава продуктов сгорания углеводородной смеси и весовых долей вредных примесей проведен термодинамический расчет реактора.

Стехиометрическое соотношение между окислителем и горючим [1]:

$$K_0 = \dot{m}_o / \dot{m}_r, \quad (1)$$

где \dot{m}_o - массовый расход окислителя; \dot{m}_r - массовый расход горючего.

Действительное соотношение между компонентами топлива оценивается через коэффициент избытка окислителя α [1]:

$$K = \alpha K_0.$$

Опыт показывает, что оптимальным для процесса обезвреживания сточных вод является коэффициент избытка окислителя: $\alpha = 1,1$.

Для устойчивого горения и полного сгорания компонентов топлива необходимо регулировать количество поступающего окислителя и горючего в реактор для обеспечения необходимого соотношения по рассчитанным значениям коэффициента K .

Термодинамический расчет проводился на программе «Термодинамика», разработка Ижевского государственного технического университета (разработчик М.А. Корепанов).

3. Алгоритм расчета эквивалентной формулы для смесей

На вход газогенератора по трубопроводам подаются компоненты топлива: газ (пропан-бутановая смесь) и воздух. На выходе газогенератора мы имеем высокотемпературную струю, которая в дальнейшем поступает на вход реактора.

Для определения состава поступающей смеси в реактор проведем расчет пропан-бутановой смеси. Известно, что содержание пропана C_3H_8 - 50 % и бутана по C_4H_{10} - 50 % от общего объема смеси. Для проведения расчетов наиболее удобно представлять компоненты топлива эквивалентной формулой, которая рассчитывается на условный (эквивалентный) молекулярный вес $\mu_3 = 1000$. Молекулярный вес компонентов по формуле [3]:

$$\mu_k = \sum_{i=1}^m \mu_i b_{ik}, \quad (2)$$

где μ_i - атомный вес химического элемента A_i ; b_{ik} - количество атомов i -го химического элемента в эквивалентной формуле; μ_k - молекулярный вес необходимой смеси химических элементов; m - количество веществ в смеси.

Молекулярный вес пропана и бутана:

Таблица 1

Весовые доли компонентов в смеси УЖ - вода

Содержание воды, %	$g_{S_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{C_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{H_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{O_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$
0	0,0711	0,7992	0,1297	0,0000
0,5	0,0708	0,7952	0,1296	0,0044
1	0,0704	0,7912	0,1295	0,0089
3,5	0,0686	0,7712	0,1290	0,0311
5	0,0676	0,7592	0,1288	0,0444
7,5	0,0658	0,7393	0,1283	0,0666
10	0,0640	0,7193	0,1279	0,0888
15,0	0,0605	0,6793	0,1270	0,1332
20	0,0569	0,6394	0,1261	0,1776
35,0	0,0462	0,5195	0,1235	0,3108
50	0,0356	0,3996	0,1208	0,4440
55,0	0,0320	0,3596	0,1199	0,4885
60	0,0284	0,3197	0,1190	0,5329
70	0,0213	0,2398	0,1172	0,6217
80	0,0142	0,1598	0,1155	0,7105

Таблица 2

Весовые доли компонентов для воды, УЖ и смеси ПС - воздух

Весовые доли соответствующего компонента в соответствующем веществе	S	C	H	O	Ar	N
H ₂ O	—	—	0,112	0,888	—	—
C ₃₀ H ₅₈ S	0,071	0,799	0,129	—	—	—
C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀ + воздух	—	0,045	0,009	0,219	0,012	0,713

Таблица 3

Значения весовых долей компонентов смеси, коэффициентов K и K_0 при различном содержании воды в смеси

Содерж. воды, %	m_{H_2O}	g_{H_2O}	$g_{ПС}$	g_M	g_{Sr}	g_{Cr}	g_{Hr}	g_{Or}	K_0	K
0	21	0,568	0,334	0,108	0,0076	0,101	0,08	0,577	6,533	7,186
0,5	20,98	0,567	0,324	0,108	0,0077	0,100	0,08	0,575	6,510	7,161
1	20,96	0,567	0,325	0,108	0,0076	0,100	0,08	0,575	6,505	7,156
3,5	20,86	0,565	0,325	0,108	0,0074	0,098	0,08	0,577	6,484	7,133
5	20,8	0,565	0,326	0,108	0,2322	8,201	79,8	0,577	6,472	7,120
7,5	20,7	0,564	0,326	0,109	0,0072	0,095	0,08	0,579	6,451	7,096
10	20,6	0,563	0,327	0,109	0,0069	0,093	0,08	0,581	6,430	7,073
15	20,4	0,560	0,329	0,109	0,0066	0,089	0,07	0,584	6,389	7,028
20	20,2	0,558	0,331	0,110	0,0062	0,085	0,08	0,588	6,346	6,981
35	19,6	0,560	0,337	0,112	0,0052	0,058	0,07	0,606	6,115	6,727
50	19	0,543	0,343	0,114	0,0040	0,061	0,08	0,608	6,08	6,690
55	18,8	0,540	0,344	0,114	0,0037	0,057	0,07	0,611	6,034	6,638
60	18,6	0,537	0,347	0,115	0,0041	0,061	0,08	0,605	6,062	6,668
70	18,2	0,532	0,351	0,117	0,0041	0,062	0,07	0,601	6,042	6,647
80	17,8	0,526	0,355	0,118	0,0042	0,063	0,07	0,598	6,02	6,623

$$\begin{cases} \mu_{\text{проп}} = 3\mu_C + 8\mu_H, \text{ г/моль;} \\ \mu_{\text{бутан}} = 4\mu_C + 10\mu_H, \text{ г/моль.} \end{cases} \quad (3)$$

Суммарный молекулярный вес пропан-бутановой смеси:

$$\mu_{\Sigma} = 0,5\mu_{\text{проп}} + 0,5\mu_{\text{бутан}}, \text{ г/моль.} \quad (4)$$

Весовые доли компонентов смеси:

$$g_k = r_k \mu_k / \mu_{\Sigma}, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

где r_k – мольная (объемная) доля вещества в смеси;
 g_k – весовая доля компонента,

$$\begin{cases} g_{\text{пропан}} = 0,5\mu_{\text{пропан}} / \mu_{\Sigma}; \\ g_{\text{бутан}} = 0,5\mu_{\text{бутан}} / \mu_{\Sigma}. \end{cases} \quad (6)$$

Определение количества атомов b_{ik} в эквивалентной формуле для отдельно взятого компонента [3]:

$$b_{ik} = \mu_{\Sigma} g_k / \mu_k. \quad (7)$$

Количество атомов b_{ik} в эквивалентной формуле для всей смеси [3]:

$$b_{i3} = \sum_{k=1}^m g_k b_{ik} \quad (8)$$

В результате расчетов получили эквивалентные формулы: пропан-бутановой смеси $C_{68,479}H_{176,089}$, воздуха $N_{53,918}O_{14,485}Ar_{0,3212}C_{0,01022}$, УЖ $C_{128,643}H_{66,539}S_{2,218}$, воды $H_{111,0124}O_{55,506}$.

4. Алгоритм расчета коэффициента соотношения компонентов топлива (К)

1) В качестве окислителя в исследуемой системе используется атмосферный воздух. В качестве горючего – смесь углеводородсодержащей жидкости (УЖ), воды, продуктов сгорания газогенератора.

Массовые расходы продуктов сгорания и УЖ остаются постоянными и равными $\dot{m}_{H_2O} = 42$;

$$\dot{m}_{ПС} = 12; \dot{m}_M = 4.$$

В ситуации полного отсутствия воды в УЖ массовый расход балластирующей воды принимается равным: $\dot{m}_{H_2O} = 21$.

Массовый расход воды при различном процентном содержании воды в отходах [1]:

$$(1\%)_{H_2O} = 0,04, \dot{m}_{H_2O} = 20,96. \quad (9)$$

2) Весовые доли продуктов сгорания, масла и воды рассчитываются по формулам:

$$\dot{m}_{ПС} = 12, \dot{m}_M = 4;$$

$$g_{ПС} = \frac{\dot{m}_{ПС}}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{12}{12 + 4 + 21} = 0,324;$$

$$g_M = \frac{\dot{m}_M}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{4}{37} = 0,108;$$

$$g_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{21}{37} = 0,5675. \quad (10)$$

3) Дополнительно рассчитываются весовые доли веществ в смеси УЖ и воды ($C_{30}H_{58}S + H_2O$) при различном содержании воды в отходах [3]. Полученные данные сведем в табл. 1.

4) Аналогично определяются весовые доли компонентов для воды (H_2O), УЖ ($C_{30}H_{58}S$) и смеси

продукты сгорания (ПС) – воздух ($C_3H_8 + C_4H_{10} +$ воздух). Полученные данные сведем в табл. 2.

5) Для смеси УЖ, воздуха и продуктов сгорания газогенератора (ПС) при различном процентном содержании воды рассчитываются весовые доли компонентов по выше приведенному алгоритму.

6) Массовый коэффициент стехиометрического соотношения компонентов для сжигания смеси газов и нефтепродуктов (масел) отходов [1]:

$$K_0 = \left(8/3 g_C^M + 8 g_H^M + g_S^M + g_O^M \right) / g_O, \quad (11)$$

где g_i^M – весовые доли элементов, содержащихся в нефтепродуктах УЖ, найденные в соответствии с алгоритмом.

7) Коэффициент весового отношения компонентов [1]:

$$K = \alpha K_0. \quad (12)$$

В табл. 3 сведем значения весовых долей компонентов смеси, коэффициентов K и K_0 при различном содержании воды в смеси.

Выводы

В результате экспериментальных исследований вредных выбросов из дымовой трубы установки получены зависимости измеряемых компонентов газа и температуры газа от процентного содержания воды в углеводородсодержащих жидкостях. С целью выяснения состава продуктов сгорания углеводородной смеси и весовых долей вредных примесей проведен термодинамический расчет реактора. На основе результатов термодинамического расчета определены необходимые значения действительного коэффициента весового соотношения окислителя и горючего в реакторе установки.

Литература

1. Бернадинер, М. Н. *Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов I* М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. - М.: Химия, 1990. -302 с.
2. *Состав и строение продуктов переработки нефти и нефтехимического синтеза / Отв. ред. В. Д. Милованов. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. - 146 с.*