

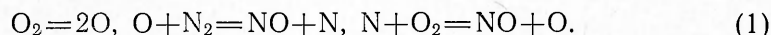
ЗАКАЛКА ОКСИ АЗОТА ПРИ ТЕПЛОТДАЧЕ НА ПОВЕРХНОСТИ

Б. С. Клячко

(Новомосковск)

Окисление азота при горении — важная в практическом и теоретическом аспектах проблема, количественная сторона и основные представления которой в настоящее время не полностью исследованы. В настоящей работе приводится аналитическое в функциях Бесселя решение задачи образования и закалки окиси азота по цепному механизму Зельдовича для законов охлаждения частицы газа. Аналитическое решение и все выводы, вытекающие из него, иллюстрируются на примере закалки окиси азота при теплоотдаче на поверхности.

Будем исходить из представлений, развитых в [1], где наиболее полно теоретически и экспериментально доказан цепной механизм образования окиси азота



Суммарное кинетическое уравнение для концентрации NO записывается в виде

$$\frac{d\text{NO}}{dt} = K' \cdot \text{N}_2 \text{O}_2 - K \cdot \text{NO}^2 = K \cdot [(\text{NO})^2 - \text{NO}^2], \quad (2)$$

$$K' = 3,2 \cdot 10^{14} \left(\frac{\rho_0}{\mu_0} \frac{\eta(t)}{\text{O}_2(t)} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{64500}{T} \right), \quad (3)$$

$$K = 1,5 \cdot 10^{13} \left(\frac{\rho_0}{\mu_0} \frac{\eta(t)}{\text{O}_2(t)} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{43000}{T} \right). \quad (4)$$

Здесь концентрации определяются как отношение числа молекул данного сорта в единице массы смеси к полному числу молекул в единице массы исходной смеси, которая описывается, в частности, плотностью ρ_0 и средним молекулярным весом¹ μ_0 . В (2)–(4) t — время, $\text{NO}(t)$ — текущая концентрация окиси азота, (NO) — равновесная концентрация, соответствующая значениям концентраций $\text{N}_2(t)$ и $\text{O}_2(t)$, температуре $T(t)$ и сжатию частицы $\eta(t)$ в момент t , $\eta(t)$ — сжатие частицы, равное отношению плотностей $\rho(t)/\rho_0$.

Уравнение (2) будем рассматривать для наиболее практически важных законов охлаждения и сжатия частицы газа

$$1/T = 1/T_m + at, \quad \eta/\text{O}_2 = \text{const}, \quad p = \text{const}, \quad (5)$$

$$1/T = 1/T_m + a/T_m \cdot \ln(t/t_0), \quad \eta = \eta_m(t_0/t)^{2b}, \quad \text{O}_2 = \text{const}. \quad (6)$$

Здесь T , η , O_2 — текущие температура, сжатие частицы и концентрация кислорода в момент времени t ; T_m , η_m — температура и сжатие в моменты времени $t=0$ и t_0 соответственно для (5) и (6); p — давление. Константа a , различная в (5) и (6), а также t_0 и b определяются законом теплопередачи и газодинамическими параметрами.

Закон (5) имеет место при закалке на поверхности в водоохлаждаемых каналах, насадке, кипящем слое и т. д. Закон (6), приведенный в работе [2], относится к случаю синтеза окиси азота в ударно-детонационных волнах, в искровых разрядах и т. д.

¹ Связь этой концентрации с табличной концентрацией в объемных процентах следующая: $\text{NO} = \mu_0/\mu \cdot x_{\text{NO}}$ и т. д., где μ — текущий средний молекулярный вес смеси.

Обоснование закона (5), описывающего охлаждение частицы при закалке на поверхности, следует из экспериментальных данных по теплопередаче, приведенных в работах [3—5]. Согласно этим данным, законы охлаждения частицы при закалке в водоохлаждаемом канале и в кипящем слое, с одной стороны, и в насадке, с другой, записываются соответственно следующим образом:

$$1/T = 1/T_w - (1/T_w - 1/T_m) \exp(-\beta t), \quad (7)$$

$$1/T = 1/T_m \exp(\beta t). \quad (8)$$

Здесь T_m — температура поверхности; постоянная β , различная в (7) и (8), характеризует скорость охлаждения частицы и зависит от различных газодинамических параметров. При характерных значениях $T_w = 350$ К, $T_m = 3500$ К в (7) и $T_m = 2200$ К в (8) и конечной температуре $T(t) = 1500$ К максимальные значения показателя βt лежат в интервале 0,157—0,378. Это позволяет с достаточной степенью точности ограничиться в разложениях экспонента в (7) и (8) членом βt , в результате чего приходим к закону (5) с соответствующими константами a для конкретных случаев.

При решении задачи закалки окиси азота весьма плодотворным оказывается введение безразмерного критерия подвижности реакции $K_m, [\text{NO}]\tau$, обозначенного в настоящей работе через m . Здесь $K_m, [\text{NO}]$, τ — соответственно константа скорости разложения окиси азота (4), равновесная концентрация при T_m и характерное время прямой реакции образования окиси азота. Используя известные кинетические характеристики цепи, m можно записать в виде

$$m = 7.642 \cdot 10^{12} \left(\frac{p_m [x_{\text{N}_2}]}{T_m} \right)^{1/2} \cdot \tau \cdot \exp\left(-\frac{53750}{T_m}\right), \quad (9)$$

где p_m — давление при температуре T_m , атм; $[x_{\text{N}_2}]$ — равновесная объемная концентрация азота при p_m, T_m .

Времена τ для законов (5) и (6) равны соответственно

$$\tau = 1/64500a, \quad \tau = t_0 T_m / 64500a. \quad (10)$$

Критериальные зависимости для теплопередачи, приведенные в работах [3, 4], приводят к следующим выражениям для подвижностей m_k, m_n при охлаждении азотно-кислородной смеси соответственно в водоохлаждаемом канале и насадке:

$$m_k = 5,074 \cdot 10^7 m_0 \cdot d^{1.20} / q^{0.80} (T_m - T_w), \quad m_n = 8,33 \cdot 10^6 \cdot m_0 / f q \Delta T, \quad (11)$$

$$m_0 = \bar{\mu}_m p_m^{3/2} ([x_{\text{N}_2}] \cdot T_m)^{1/2} \exp\left(-\frac{53750}{T}\right), \quad (12)$$

где $\bar{\mu}_m$ — средний молекулярный вес при T_m ; d — диаметр канала, см; q — удельный поток, г/(см²·с); f — степень заполнения насадки, см²/см³; ΔT — разность температур между газом и насадкой, постоянная по длине насадки (как следует из [4]). Для кипящего слоя и закона (6) выражения для m следуют из (9) и (10) с использованием экспериментально измеренной константы a или полученного газодинамического решения.

Вводя переменные x и y для законов (5) и (6) соответственно

$$x = (6m)^{1/5} \exp\left(-\frac{t}{6\tau}\right), \quad x = (6m)^{1/5} \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\frac{10750}{T_m}}, \quad (13)$$

$$y = (6m)^{1/5} \cdot \text{NO}(t) / [\text{NO}],$$

от уравнения (2) переходим к безразмерному кинетическому уравнению образования окиси азота, являющемуся уравнением Риккати²

$$dy/dx = x^3(y^2 - x^2). \quad (14)$$

В отличие от работы [1], где общее решение уравнения (14) построено из трех частных решений путем численного интегрирования этого уравнения, приводим аналитическое решение уравнения (14) с подвижностью m в качестве аргумента. Вводя три последовательные замены переменных

$$\begin{aligned} \xi = x^2, \quad y = f_1(\xi), \quad f_1(\xi) = -4d \ln f_2(\xi)/d\xi, \\ Z = \xi^{5/4}/5, \quad f_2(\xi) = \xi^{1/2}f_3(Z) = \xi^{1/2}f_3(\xi^{5/4}/5) \end{aligned} \quad (15)$$

и совершая обратный переход, записываем аналитическое решение задачи в модифицированных функциях Бесселя порядка 2/5 и 7/5 [6]

$$Z = x^5/5, \quad (16)$$

$$y(Z) = -2(5Z)^{1/5} \left[\frac{2}{5Z} + \frac{1}{2} \frac{cI_{7/5}(Z) - k_{7/5}(Z)}{cI_{2/5}(Z) + k_{2/5}(Z)} \right]. \quad (17)$$

Постоянная c в (17) зависит от начальных условий при $t=0$, т. е. от начальной концентрации $\text{NO}_0 = \text{NO}(0)$ и параметра $Z_0 = 6/5 \cdot m$. Концентрация закаленной окиси азота NO_k определяется при $t \rightarrow \infty$: $\text{NO}_k = \text{NO}(\infty)$ или, согласно (13), (16), при $Z \rightarrow 0$. Совершая в (17) предельный переход при $Z \rightarrow 0$ и учитывая (13), записываем NO_k в следующем виде:

$$\text{NO}_k = \frac{\left(\frac{5}{3m}\right)^{1/5}}{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)} \left[\Gamma\left(\frac{3}{5}\right) - \frac{2c}{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)} \right] [\text{NO}], \quad (18)$$

$$c = \frac{k_{7/5}\left(\frac{6}{5}m\right) - \left(\frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}] + \frac{2}{3m}}\right) k_{2/5}\left(\frac{6}{5}m\right)}{I_{7/5}\left(\frac{6}{5}m\right) + \left(\frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}] + \frac{2}{3m}}\right) I_{2/5}\left(\frac{6}{5}m\right)}. \quad (19)$$

В (18) и (19) $\Gamma(2/5)$ и $\Gamma(3/5)$ — гамма-функции. Аналогично зависимости NO_k от $Z_0 = 6/5 \cdot m$ текущая концентрация окиси азота $\text{NO}(t)$ зависит от временной безразмерной подвижности реакции $m(t)$, определяющейся, согласно (5), (6), (13), (16), формулой

$$m(t) = m \cdot \exp\{-53750[1/T(t) - 1/T_m]\}. \quad (20)$$

Формулы (9)–(12), (18), (19) в зависимости от отношения $\text{NO}_0/[\text{NO}]$, решают две задачи для режима понижающейся температуры: при $\text{NO}_0/[\text{NO}] < 1$ — задачу синтеза и последующей закалки NO относительно безразмерного выхода $\text{NO}_k/[\text{NO}]$, а при $\text{NO}_0/[\text{NO}] \geq 1$ задачу закалки NO относительно безразмерного выхода NO_k/NO_0 . Первая задача имеет место при синтезе окиси азота во взрывах (см. [1]), в ударно-детонационных волнах, в искровых разрядах и т. д. Вторая задача относится к закалке окиси азота при теплоотдаче на поверхности после теплового нагрева, в частности электродугового, или при сжигании топлива и т. д.

Как следует из (19), постоянная c при больших m стремится к нулю в обеих задачах, т. е. вне зависимости от начального условия

² Для закона (6) кинетическое уравнение имеет вид $dy/dx = x^{3-\delta}(y^2 - x^2)$, где δ — малая величина, которой с достаточной степенью точности можно пренебречь в практически важных случаях.

$\text{NO}_0/[\text{NO}]$. Согласно (18), обе задачи в этом случае имеют одно и то же решение, не зависящее от начальных условий,

$$\text{NO}_k = \frac{\left(\frac{5}{3m}\right)^{1/5} \Gamma\left(\frac{3}{5}\right)}{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)} [\text{NO}] = 0,7438 \cdot m^{-1/5} [\text{NO}]. \quad (21)$$

Предельный выход (21) отличается от точного решения меньше чем на 0,5% при $m=2,5$ в первой задаче и при $m=1,2$ во второй. Физический смысл очень слабой зависимости решения от начальных условий при указанных и более высоких подвижностях заключается в том, что изменение текущей окиси азота примерно следует за изменением равновесной окиси азота вплоть до температуры «замерзания» реакции T_3 , при которой $\text{NO}_k = [\text{NO}]_3$. Подвижность m_3 , соответствующая T_3 , определится из (21) как $m_3 = (0,7438)^5 = 0,2276$. Следовательно, из (20) имеем

$$m(t) = 0,2276, \quad T_3 = \frac{53750 \cdot T_m}{53750 - T_m \ln \frac{0,2276}{m}}. \quad (22)$$

Кинетическое уравнение (22) становится неприменимым в области высокой подвижности реакции, когда имеет место слабая зависимость решения от начальных условий. Анализ показал, что во второй задаче — задаче закалки NO — именно $m_3 = 0,2276$ — верхняя граница применимости уравнения (2). В первой задаче — задаче синтеза и последующей закалки NO — соответствующее граничное значение $m=3$. При подвижностях $m > 3$ в первой задаче и $m > 0,2276$ во второй следует пользоваться точным решением (18) при $m = 0,2276$ с начальным условием $\text{NO}_0 = [\text{NO}]_3$, где $[\text{NO}]_3$ определяется температурой «замерзания» T_3 и каким-либо другим газодинамическим параметром. Оптимальная температура T_m нагрева газовой частицы для синтеза в ней окиси азота $\text{NO}_0 = [\text{NO}]$ при закалке, обеспечивающей подвижность реакции m , оценивается из уравнения, аналогичного (22):

$$m = 0,2276, \quad (23)$$

где m дается формулой (9). Нагрев частицы до более высоких температур приведет лишь к равновесному разложению окиси азота в процессе закалки.

Ввиду отсутствия таблиц бесселевых функций $k_{2/5}$, $k_{7/5}$, $I_{2/5}$, $I_{7/5}$, последние, как функции аргумента $Z_0 = 6/5 \cdot m$, вычислялись с использованием их интегральных представлений [6] и стандартной программы вычисления интегралов. В области подвижностей $0,40 \leq m \leq 3$ точность вычислений была достигнута по крайней мере до четырех значащих цифр. Значения функций $k_{2/5}$, $k_{7/5}$, $I_{2/5}$, $I_{7/5}$ для подвижностей m из этой области приведены в табл. 1.

В области подвижностей $0 \leq m \leq 0,40$, в которой функции $k_{2/5}$, $k_{7/5}$ не могли быть вычислены с указанной точностью, решение обеих задач дается формулой

$$\text{NO}_k = \frac{\frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}]} + m + \frac{3}{5} \frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}]} m^2 + \frac{9}{40} m^3}{1 + \frac{3}{2} \frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}]} m + \frac{9}{10} m^2 + \frac{27}{70} \frac{\text{NO}_0}{[\text{NO}]} m^3 + \frac{27}{280} m^4} [\text{NO}], \quad (24)$$

расхождение которой с точным решением (18) составляет сотые доли процента³.

³ Формула (24) получается из (18), (19) с использованием степенных выражений бесселевых функций $k_{2/5}$, $k_{7/5}$, $I_{2/5}$, $I_{7/5}$ [6], в которых удержаны члены до $Z_0^{22/5}$ включительно.

Таблица 1

Функции $K_{2/5}(\frac{6}{5}m)$, $K_{7/5}(\frac{6}{5}m)$, $I_{2/5}(\frac{6}{5}m)$, $I_{7/5}(\frac{6}{5}m)$.

m	$K_{2/5}$	$K_{7/5}$	$I_{2/5}$	$I_{7/5}$	m	$K_{2/5}$	$K_{7/5}$	$I_{2/5}$	$I_{7/5}$
0,40	1,0592	2,9630	0,6633	0,1118	0,88	0,4112	0,7522	1,0571	0,3691
0,42	1,0109	2,7438	0,6792	0,1200	0,90	0,3972	0,7193	1,0757	0,3828
0,44	0,9659	2,5481	0,6950	0,1284	0,92	0,3837	0,6883	1,0946	0,3969
0,46	0,9237	2,3724	0,7106	0,1370	0,94	0,3708	0,6590	1,1138	0,4112
0,48	0,8841	2,2141	0,7262	0,1458	0,96	0,3584	0,6312	1,1333	0,4258
0,50	0,8468	2,0708	0,7418	0,1549	0,98	0,3465	0,6049	1,1531	0,4408
0,52	0,8117	1,9407	0,7574	0,1641	1,00	0,3350	0,5800	1,1733	0,4560
0,54	0,7786	1,8221	0,7730	0,1736	1,05	0,3082	0,5231	1,2252	0,4955
0,56	0,7473	1,7136	0,7887	0,1832	1,10	0,2839	1,4729	1,2795	0,5370
0,58	0,7177	1,6142	0,8044	0,1931	1,15	0,2617	0,4285	1,3362	0,5807
0,60	0,6896	1,5228	0,8201	0,2032	1,20	0,2415	0,3891	1,3957	0,6267
0,62	0,6630	1,4386	0,8360	0,2135	1,25	0,2230	0,3539	1,4580	0,6751
0,64	0,6376	1,3607	0,8520	0,2240	1,30	0,2061	0,3225	1,5234	0,7261
0,66	0,6136	1,2886	0,8680	0,2348	1,40	0,1764	0,2690	1,6642	0,8364
0,68	0,5906	1,2216	0,8843	0,2458	1,52	0,1468	0,2178	1,8528	0,9848
0,70	0,5688	1,1594	0,9007	0,2570	1,60	0,1301	0,1900	1,9920	1,0947
0,72	0,5480	1,1014	0,9172	0,2684	1,70	0,1120	0,1606	2,1828	1,2459
0,74	0,5281	1,0473	0,9339	0,2802	1,80	0,09665	0,1362	2,3944	1,4140
0,76	0,5091	0,9967	0,9508	0,2921	1,90	0,08350	0,1159	2,6294	1,6013
0,78	0,4909	0,9493	0,9680	0,3043	2,00	0,07223	0,09890	2,9039	1,8100
0,80	0,4736	0,9048	0,9853	0,3167	2,30	0,04708	0,06222	3,8615	2,5915
0,82	0,4570	0,8631	1,0029	0,3294	2,60	0,03094	0,03975	5,1989	3,6786
0,84	0,4410	0,8239	1,0207	0,3424	3,00	0,01785	0,02226	7,8062	5,8244
0,86	0,4258	0,7870	1,0388	0,3556					

Таким образом, формулы (18), (19), (24) и табл. 1 полностью решают задачи синтеза и закалки или закалки окиси азота в режиме понижающейся температуры для любых значений подвижностей m . Из формулы (24) следует, что для получения безразмерного выхода NO_x/NO_0 , равного 95%, при начальном условии $NO_0 = [NO]$ закалочное устройство должно обеспечить подвижность, равную

$$m = 0,11. \quad (25)$$

Необходимые параметры закалочного устройства подбираются исходя из условия (25) и формул (9), (11), (12). Условие (25) является альтернативой так называемому «оптимальному» режиму закалки, некорректно выведенному из ошибочных предположений в работе [7], практически нереализуемому.

Для иллюстрации изложенного выше аналитического решения задачи и всех представлений, вытекающих из него, обратимся к экспериментальным данным [8, 9] по зависимости выхода окиси азота NO_x от температуры нагрева частицы газа T_m при закалке в водоохлаждаемых зондовых каналах. В работе [8] экспериментальные выходы NO_x обсуждаются с учетом влияния на них гетерогенного фактора. Однако в эксперименте [9] и аналогичных экспериментах, упомянутых в [8], такое влияние гетерогенного фактора не обнаружено. Параметры закалки газа в экспериментах [8, 9] примерно одинаковы, поэтому будем исходить из данных работы [8]: диаметр внутреннего канала зонда $d = 0,127$ см, $T_w = 300$ К, $q = 0,4301$ г/(см²·с), $p = 1$ атм. В табл. 2 для различных температур нагрева газовой смеси приведены значения подвижностей, вычисленные по формулам (11), (12) и предсказываемые аналитическим решением величин T_s , NO_x/NO_0 , NO_x для начальных условий $NO_0 = [NO]_s$ или $NO_0 = [NO]$ соответственно для $m > 0,2276$

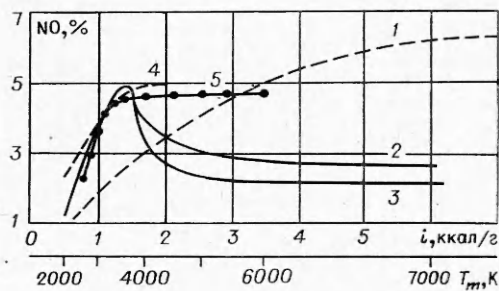
Таблица 2

T_m, K	m_k	T_3, K	$\frac{\text{NO}_k}{\text{NO}_0}$	$\text{NO}_k, \%$
6000	229,76	3385	0,9056	4,656
5500	120,93	3350	0,9056	4,616
5000	51,05	3325	0,9056	4,588
4000	4,27	3283	0,9056	4,528
3500	0,74	3250	0,9056	4,466
3400	0,49	3242	0,9056	4,451
3300	0,32	3235	0,9056	4,438
3200	0,20	—	0,9153	4,418
3100	0,12	—	0,9459	4,304
3000	0,07	—	0,9671	4,081
2900	0,04	—	0,9807	3,776
2800	0,02	—	0,9902	3,425
2700	0,01	—	0,9950	3,045
2600	$4,92 \cdot 10^{-3}$	—	0,9975	2,659
2500	$2,22 \cdot 10^{-3}$	—	0,9990	2,284

Примечание. При вычислении концентраций $\text{NO}_0 = [\text{NO}]_0$, $\text{NO}_0 = [\text{NO}]$ и NO_k в объемных процентах были использованы данные таблицы [10].

и $m \leq 0,2276$. Для закалочного устройства с параметрами, приведенными выше, оптимальная температура нагрева $T_m \approx 3220 \text{ K}$.

На рисунке дано сопоставление экспериментальных данных [8] (кривая 1), их результатов численного счета на ЭВМ кинетики разложения NO с учетом (кривая 2) и без учета гетерогенного фактора (кривая 3), экспериментальных данных [9] (кривая 4) и теоретического выхода NO_k (кривая 5) — настоящая работа. Видно, что аналитическое решение верно отражает ход экспериментальных кривых и более того весьма удовлетворительно согласуется⁴ с кривой 4. Следует отметить принципиальную ошибочность приведенных на рисунке результатов численного счета кинетики разложения NO [8], выполненного без учета неприменимости кинетических представлений в той области температур, в которой имеет место разложение окиси азота по равновесию в процессе закалки.



$\text{NO}_0/[\text{NO}] = 1$; 2. Соответствующие подвижности вычислялись по формулам (11), (12) с использованием параметров реальной насадки, взятых из работы [4]: $q = 0,2 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $f = 1,80 \text{ см}^2/\text{см}^3$, $p = 1,4 \text{ атм}$. Анализ данных табл. 3 позволяет с уверенностью сделать вывод о возможности использования насадки как регенеративного элемента в области температур 2000—2300 K с приемлемыми потерями окисного азота в процессе закалки.

⁴ Кривая 4 отвечает более реальным случаям закалки газа в водоохлаждаемых каналах с достаточно большими d , когда гетерогенный фактор, очевидно, мал.

Таблица 3*

T_m, K	$\Delta T = 100K$		$\Delta T = 50K$		$\Delta T = 25K$	
	m	NO_K/NO_0	m	NO_K/NO_0	m	NO_K/NO_0
2000	$5,63 \cdot 10^{-1}$	~ 1	$1,13 \cdot 10^{-3}$	0,9995 0,9975	$2,25 \cdot 10^{-3}$	0,9990 0,9950
2100	$2,07 \cdot 10^{-3}$	0,9990 0,9950	$4,14 \cdot 10^{-3}$	0,9980 0,9901	$8,28 \cdot 10^{-3}$	0,9960 0,9804
2200	$6,78 \cdot 10^{-4}$	0,9965 0,9828	0,01	0,9950 0,9757	0,03	0,9854 0,9310
2300	0,02	0,9902 0,9527	0,04	0,9807 0,9104	0,08	0,9627 0,8377
2400	0,05	0,9761 0,8968	0,11	0,9500 0,7917	0,22	0,9082 0,6660
2500	0,13	0,9418 0,7643	0,27	0,8914 0,6244	0,54	0,8190 0,4868

* Два значения NO_K/NO_0 относятся соответственно к начальным условиям $NO_0/[NO]=1$, $NO_0/[NO]=2$.

Поступила в редакцию 8/VI 1977,
после доработки — 27/X 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, П. Я. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий. Окисление азота при горении. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
2. Ю. П. Райзер. ЖФХ, 1959, 33, 3, 700.
3. Г. Гребер, С. Эрк, У. Григуль. Основы учения о теплообмене. М., ИЛ, 1958.
4. П. Г. Полетавкин.— В сб.: Теплообмен в высокотемпературном потоке газа. Под ред. А. Жукаускаса. Вильнюс, «Минтис», 1972.
5. W. M. Goldberger, J. H. Oxley. A. I. Ch. E. J., 1963, 9, 6, 778.
6. Н. Н. Лебедев. Специальные функции и их приложения. М.—Л., Физматгиз, 1963.
7. Л. С. Полак, В. С. Щипачев.— В сб.: Кинетика и термодинамика химических реакций в низкотемпературной плазме. Под ред. Л. С. Полака. М., «Наука», 1965.
8. P. R. Atman, R. S. Timmins. A. I. Ch. E. J., 1966, 12, 956; P. Timmins, П. Амман.— В сб.: Исследование плазмы в химических процессах. Под ред. Л. С. Полака. М., «Мир», 1970.
9. С. Н. Ганз, А. П. Мельник, В. Д. Пархоменко. Плазма в химической технологии. Киев, «Техника», 1969.
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Под ред. В. П. Глушко. М., Изд-во АН СССР, 1962.

О ВЛИЯНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ГОРЕНИЕ ЦИКЛОТРИМЕТИЛЕНТРИНИТРОЗАМИНА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ

А. П. Глазкова, Л. И. Тутаева

(Москва)

Изучение закономерностей горения ВВ в широком диапазоне давлений, предпринятое впервые в [1], показало, что скорость горения в первом приближении зависит от химического строения взрывчатых