УДК 532. 526.3

***С.Р. АРТЕМЬЕВ***, ***В.П. ШАПОРЕВ***, доктор техн. наук, НТУ «ХПИ»,
***Н.И. ПОПОВ***, доктор техн. наук, ТГТУ, г. Тамбов, Россия

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНИМИКИ И ДИСПЕРСНОЙ СТРУКТУРЫ ФАКЕЛА РАСПЫЛА ФОРСУНКИ ЖИДКОГО НАТРИЯ И МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАТРИЯ С КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА

У статті проведене дослідження точкою структури смолоскипа розпилу багатофазової відцентрової форсунки і пристрою, що розпорошує, заснованого на ефекті струменів, що зіштовхуються, за допомогою оптичних методів. Дослідження проведені на холодних і гарячих моделях, установлений механізм горіння й утворення перекісних сполук натрію в системі – «дисперсія крапля натрію – сухе повітря».

This paper conduct the investigation a dot the structure torches centres forces and spreading arrangement, foundation this effect a movement stream for assistance the optical methods. This investigations conduct on the cold and worms models, the establish mechanism be on fires and be formed this sodium combination in system – “the drops of sodium – dry airs”.

**Введение.** Процесс горения металлического натрия широко используется во многих технологических процессах, например, при получении окиси натрия ($Na_2O$), перекиси натрия ($Na_2O_2$), при уничтожении отходов производства металлического натрия и др.

Очевидно, что для расчета процесса и создания реакторной системы необходимо знание механизма процесса горения Na и кинетики данного процесса.

Известные данные о механизме процесса горения и образования продуктов реакции базируются на термодинамике реакций Na с кислородом [1, 2] и описываются следующими уравнениями:

$$2\,Na\ (тв.) + 1/2\,O_2\,(г.) \rightarrow Na_2O\ тв.$$
$$H_{298} = 451{,}3\ кДж$$
$$F_{298} = -382{,}96\ кДж$$
$$2\,Na\ (ж.) + 1/2\,O_2\,(г.) \rightarrow Na_2O\ тв.$$
$$H_{500} = -436{,}64\ кДж$$
$$2\,Na\ (тв.) + O_2\,(г.) \rightarrow Na_2O_2\ тв.$$
$$H_{298} = -505{,}3\ кДж$$

В работе [3] приводятся данные о теплоте образования $Na_2O$ ($\Delta H$ = –511,6 кДж/моль), $Na_2O_2$ ($\Delta H$ = – 253 кДж/моль), $NaO_2$ ($\Delta H$ = – 2640,54 кДж/моль) и утверждается, что в продуктах реакции наряду с оксидом, перекисью Na может образовываться перокись Na ($NaO_2$) или $Na_2O_4$.

Известные данные [1 – 3] получены для случаев свободного горения кускового натрия, толстой стекающей или неподвижной пленки [4]. При реализации вышеуказанных технологических процессов существует несколько особенностей организации процесса горения:

– процесс горения осуществляется в ограниченном объеме, с теплообменом в окружающую среду, с фиксированной температурой в реакционном сосуде;

– процесс осуществляется при различных молярных отношениях $Na/O_2$ от 0,25:1 до 8:1;

– металлический натрий вводится в реактор в виде расплава (жидкости) при температуре 180 – 250 ºС;

– в зависимости от способа ввода жидкого Na и сухого воздуха в реакторе может наблюдаться ламинарное диффузионное пламя (факел) или турбулентное пламя (факел).

Вышеперечисленные особенности определяют температурный, концентрационный режимы в факеле и по его сечению, размеры капель натрия (частиц) и поверхность контакта с $O_2$, состояние молекул кислорода и т.д. Все это может изменить модель механизма горения и, соответственно, модель расчета процесса.

Исходя из этого, в данной статье рассматривается возможная модель взаимодействия Na с кислородом воздуха при учете вышеотмеченных особенностей.

**Методы проведения экспериментальных исследований и расчетов.** Принципиальная схема установки приведена на рисунке 1.

При проведении экспериментов, в первую очередь, были проведены исследования гидродинамики и дисперсной структуры факела распыла металлического натрия в реакционный сосуд.

В качестве распыляющих устройств использовались следующие схемы, которые приведены на рис. 2.

Экспериментальное определение гидродинамических характеристик двухфазного потока осуществляется визуально (кинофотосъемка) и бесконтактным методом – лазер – доплеровским [5, 6].

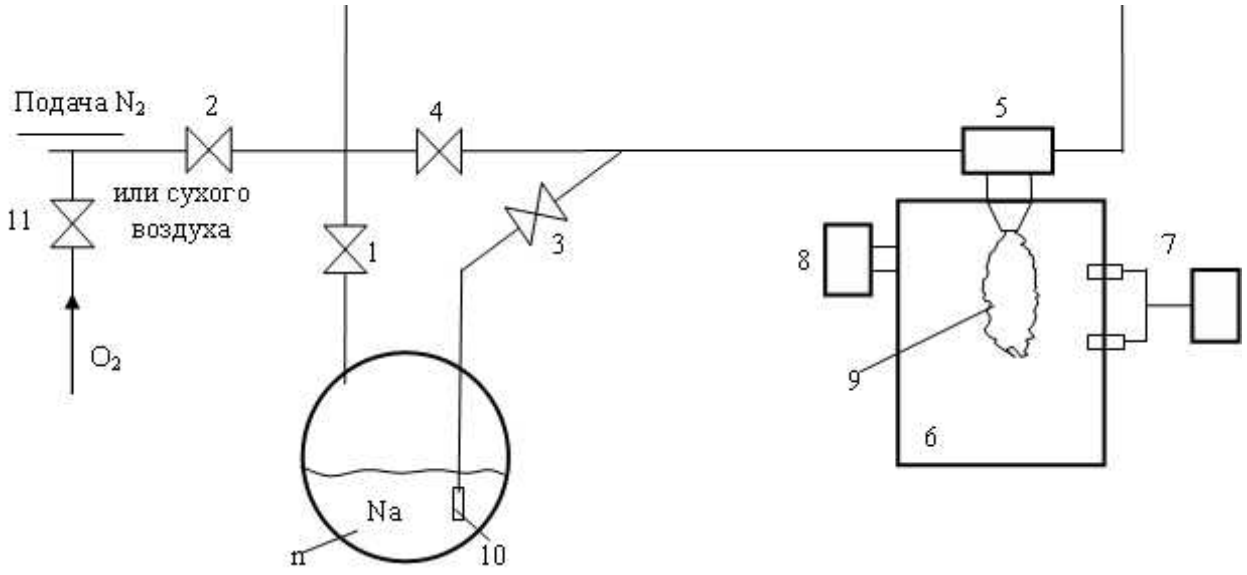


Рис. 1. Схема экспериментальной установки
1 – вентиль подачи паров Na; 2 – вентиль подачи сухого $N_2$ или воздуха; 3 – вентиль подачи жидкого Na; 4 – регулирующий вентиль; 5 – устройство для распыления; 6 – реакционный сосуд; 7 – лазер ЛГ–38; 8 – пирометр; 9 – факел; 10 – шламовый насос для подачи жидкого натрия; 11 – вентиль для подпитки $O_2$; 12 – плавильная емкость.

Оптическая система (рис.1, поз.7) формирования лазерного «ножа» включает в себя источник излучения (лазер ЛГ–38), телескопическую систему, состоящую из линз с фокусным расстоянием 30 и 180 мм, которые предназначены для увеличения поперечного сечения лазерного луча до необходимого размера и уменьшения угла расходимости, а также цилиндрическую линзу, формирующую плоскопараллельный пучок. Толщина светового пучка согласно [6] определялась из соотношения:

$$t \le \frac{1}{®R^2 n_0} \qquad (1)$$

где R – размер частиц (мм), $n_0$ – концентрация частиц в потоке.

Гидродинамические характеристики факела, в первую очередь, определялись на холодных моделях (вода – воздух). Использование холодных моделей обосновывалось тем, что плотность, вязкость Na и его поверхностное натяжение при температуре подачи в реактор близки к таковым для воды ($\rho_{Na}$ = 0,9037 г/см$^3$; $\rho_{H20}$ = ~ 1 г/см$^3$; $\eta_{Na}$ = 0,45 Сп; $\eta_{H20}$ = 0,469 Сп; $\sigma_{Na}$ = 0,211 Н/м; $\sigma_{H20}$ = 0,075 Н/м).

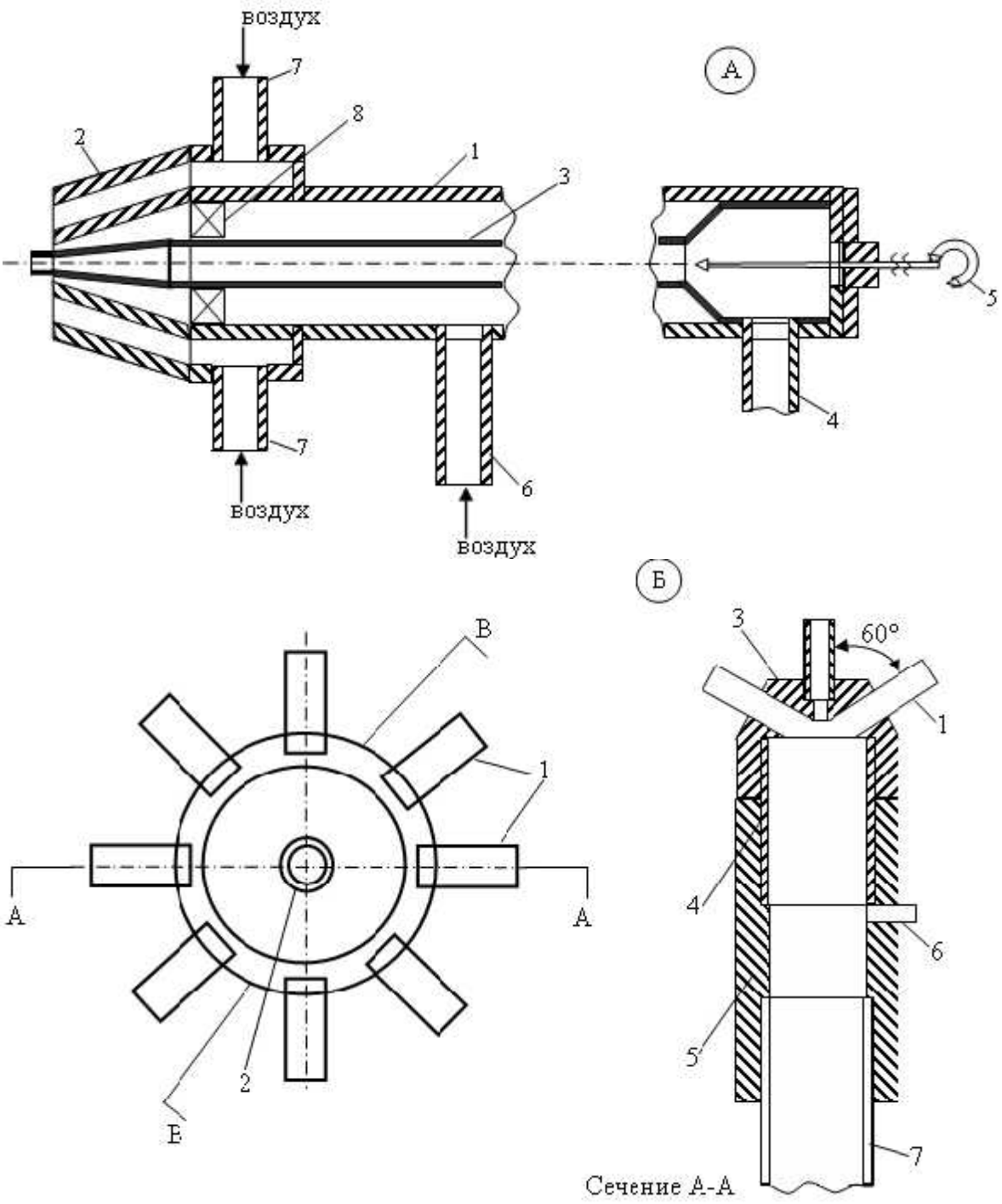


Рис. 2. Конструкции распыляющих устройств

А – форсунка турбулентно – вихревая

1 – корпус; 2 – камера для подачи воздуха; 3 – сопло подачи жидкого натрия; 4 – патрубок ввода Na; 5 – устройство для чистки канала; 6, 7 – патрубки подачи воздуха; 8 – лопастный завихритель.

Б – реакторная система, основанная на эффекте сталкивающихся струй

1 – отверстия для подачи воздуха (1,4 см); 2 – отверстия для ввода натрия (1,6 см); 3 – реакторная головка; 4 – никелевая вставка; 5 – корпус реактора; 6 – точка измерения давления; 7 – никелевая труба.

Для имитации влияния твердых частиц на гидродинамику в поток воды вводились частицы коалина с диаметром 1 – 5 мкм. Как показано в [7], частицы с такими размерами с высокой точностью следуют за потоком газа. При проведении горячих экспериментов температура в факеле и в объеме реакционного сосуда определялась пирометром (рис.1, поз. 8). Точность определения составляет ± 50 ºС, массовые расходы реагентов определялись стандартными методами, идентификация компонентов факела проводилась методом высокотемпературной газовой ИК-спектроскопии [8] в диапазоне 200 – 1000 см $^{-1}$. При горячем процессе в качестве реагентов использовались жидкий Na с температурой 180 – 250 °С, который находился под атмосферой $N_2$ в емкости 12 (рис. 1) и расплав отходов производства Na.

Физико-химические характеристики металлического натрия: содержание Na ~ 99%; $\eta_{Na}$ = 0,45 Сп; $\rho_{Na}$ = 0,9037 г/см$^3$; $\sigma_{Na}$ = 0,211 Н/м.

Физико-химические характеристики отходов производства металлического натрия: содержание Na ~ 88 – 90%; примеси щелочноземельных металлов и их оксидов ~ 7 – 8%; примеси солей щелочных металлов ~ 2 – 3%; $\rho_{Na\ от.}$ = 0,9840 г/см$^3$, $\eta_{Na\ от.}$ = 0,695 Сп; $\sigma_{Na\ от.}$ = 0,22 Н/м.

Воздух, подаваемый в реактор при горячем режиме, имел влажность ~ 0,2%, содержание кислорода в нем регулировалось в пределах от 6 до 40% с помощью вентилей 2,11 (рис.1).

**Результаты экспериментов и их обсуждение.** На рисунке 3 представлены схемы факела распыла посредством распыляющих устройств (рис.2). Согласно рис.3 при различных методах распыла (формирования факела), а также при различных соотношениях расходов воздуха и жидкости, давления сжатого воздуха размеры и форма ядра обратных течений могут меняться, но ядро факела всегда существует, напоминая летящую каплю.

Исследуя гидродинамическую картину течения в реакторе по визуализации потоков, установили, что как с использованием турбулентно – вихревой форсунки, так и с использованием встречных струй для двухфазных систем (вода – воздух) результирующая структура потока была типична для двухфазных расширяющихся струй.

В случае подачи струй трехфазной системы (рис. 3В) картина течения радикально изменяется по сравнению с предыдущими. Чуть ниже по потоку от сопел формируется струйный центральный поток, диаметр которого приблизительно равен от 1/3 до 1/2 диаметра сопла. Ниже по потоку, как и в предыдущем случае, центральная струя постепенно расширяется и, в конечном ито-

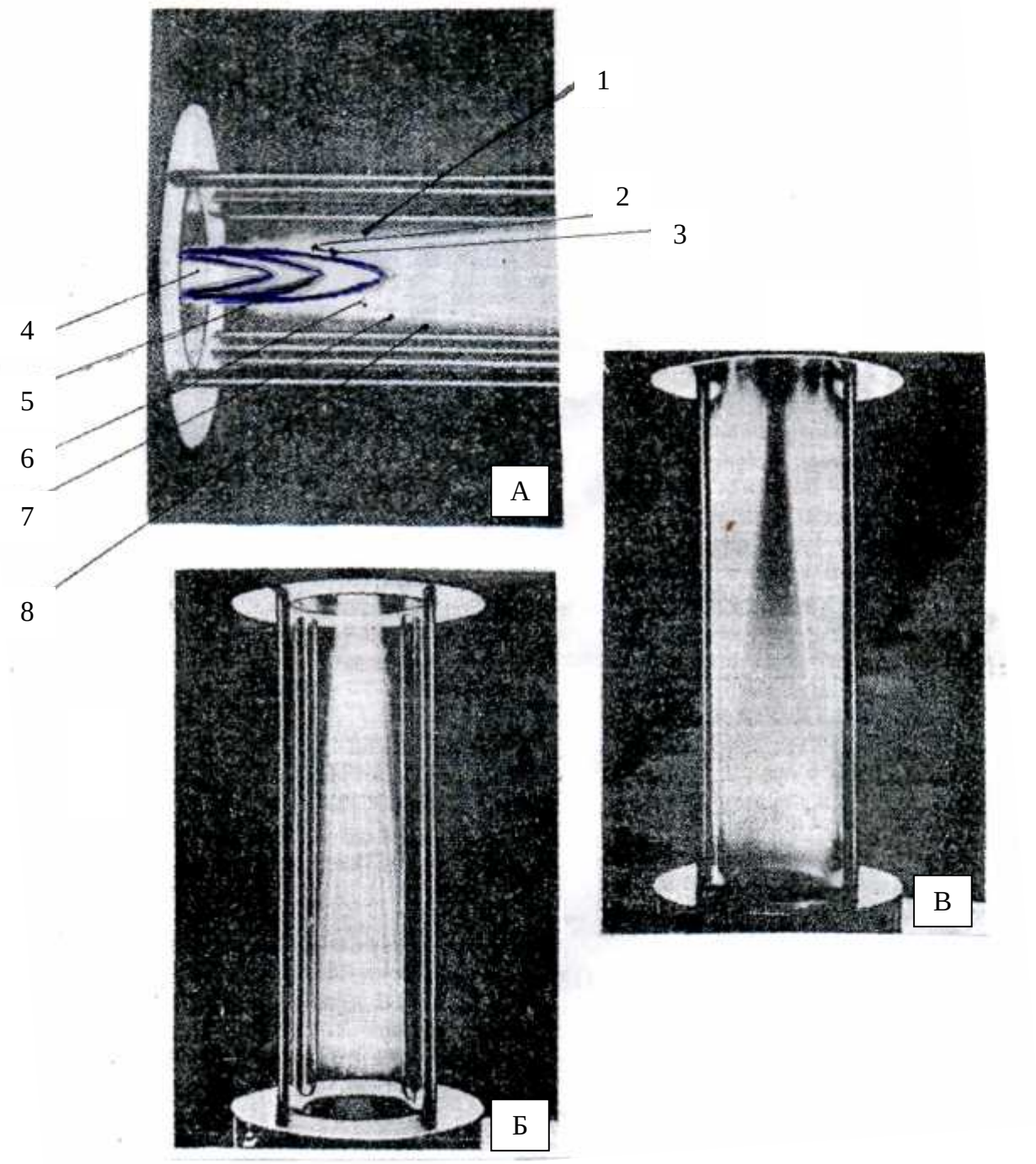


Рис. 3. Схема структуры факела потоков струй

А) – Схема структуры факела распыла при использовании турбулентно – вихревой форсунки: 1 – зона интенсивного перемешивания; 2 – внешний пограничный слой; 3 – внутренний пограничный слой; 4 – ядро; 5 – зона постоянной скорости; 6 – зона высокой скорости; 7 – переходная зона; 8 – граница факела.

Б) – Структура потоков при сталкивающихся струях

В) – Структура потоков при сталкивающихся струях, содержащих твердотельные частицы

ге, занимает все сечение сосуда. Структура потока в этом случае, в отличие от предыдущей, чрезвычайно неустойчива, что проявлялось как во флуктутационном характере расширения центральной струи, так и в ее ориентации. Ввиду важности флуктуаций, осуществляли исследования по нестабильностям, которые выявлялись при непрерывном контроле массы твердой фазы, накапливаемой в муфтовом фильтре при отборах проб. Было установлено, что все изменения потоков осуществляются за время, не превышающее 3 сек. При больших временных интервалах поток через каждый пробник был постоянным и не изменялся во времени.

Таким образом, можно заключить, что все флуктуации в процессе работы имеют значительно большие частоты. Что же касается природы наблюдаемой неустойчивости, то, возможно, она заключается  во влиянии малых флуктуаций расхода жидкости и газа на выходах из сопел.

Результаты эксперимента на холодных моделях показывают, что длина ядра обратного течения (L) существенно зависит от соотношения расходов сжатого воздуха ($G_в$) и распыливаемой жидкости ($G_ж$) и может быть описана эмпирической зависимостью:

$$L \sim \left(\frac{G_в}{G_ж}\right)^{0,3} \qquad (2)$$

Исследование структуры охватывающего потока в окрестности ядра с помощью лазерной диагностики показало, что поток имеет неравномерное распределение скорости по своему сечению и ограничен пограничными слоями: внутренним слоем, окружающим ядро обратных течений и внешним – на периферии факела распыла.

В таблице приводятся значения толщины внешнего «пограничного» слоя ($в_э$), полученного экспериментально, и (в), рассчитанного эмпирически по формуле [9]:

$$в = nr + в_п, \qquad (3)$$

где n – коэффициент неравномерности, r – расстояние по радиусу факела распыла (мм).

Коэффициент неравномерности определялся по формуле Абрамовича [10]:

$$n = 2 \int_0^1 (\frac{V_0}{V_{0m}})^2 rdr, \qquad (4)$$

где $V_0$ – среднерасходная скорость истечения струи из сопла; $V_{0m}$ – скорость на оси среза сопла.

Таблица

Значение таблицы внешнего пограничного слоя

| X, мм | 5 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| r, мм | 7 | 15 | 26 | 42 | 55 | 64 | 74 | 202 |
| в, мм | 2 | 2 | 3,6 | 4,4 | 5,2 | 6 | 6,8 | 10 |
| $в_э$, мм | 2.2 | 2,4 | 2.7 | 4 | 5,2 | 6 | 7,2 | 10,6 |

где X – расстояние вдоль оси факела распыла.

Степень турбулентности внешнего пограничного слоя составляла 3 %, а при увеличении расстояния от оси возникала зона интенсивного перемешивания факела и степень турбулентности достигла 35 %. Измерение профиля скоростей факела распыла на начальном участке в четырех сечениях: X = 5; 10; 20; 40 и 200 мл представлены на рис. 4.

Из экспериментальных данных следует, что на начальном участке положение максимума осевых и тангенциальных скоростей несущего потока не совпадают, но их соотношение:

$r_{vmax} / r_{wmax} \approx 1{,}37$ и постоянно на всем участке также, как и степень крутки факела (отношение осевой скорости к тангенциальной): $V_{max} / W_{max} = const$, причем максимум тангенциальной скорости находится ближе к оси факела при любых отношениях $G_в/G_ж$. За пределами начального участка на расстоянии X = 40 мм отношение $r_{vmax}/r_{wmax}$ равно 1 и в дальнейшем уменьшается. На начальном участке несущий поток искривляется криволинейно, что приводит к их взаимным столкновениям.

Согласно теории распада струи на капли [10], критерия Вебера, при котором происходит дробление струи на капли, лежит в интервале $1{,}3 \le W_e \le 7$.

После распада струи критерий We:

$$We = pdV^2 / \le 1 \qquad (5)$$

где σ – поверхностное натяжение.

Результаты эксперимента (рис. 5) показали, что дробление капель происходит за пределами области распада струи, причем, чем выше $G_в/G_ж$, тем

меньше разница в размерах капель в различных сечениях, а при максимальном в наших экспериментах отношении $G_в/G_ж = 5.5 \cdot 10^3$ этой разницы не наблюдается. Этот факт можно объяснить тем, что при отношениях $G_в/G_ж = 1 \cdot 10^3 – 2 \cdot 10^3$ образуются крупные капли диаметром от 40 до 100 мкм, которые при движении в факеле соударяются, и происходит их дробление. При отношении $G_в/G_ж = 5.5 \cdot 10^3$ образуются капли с размером, при котором силы поверхностного натяжения препятствуют дроблению капель в результате столкновения.

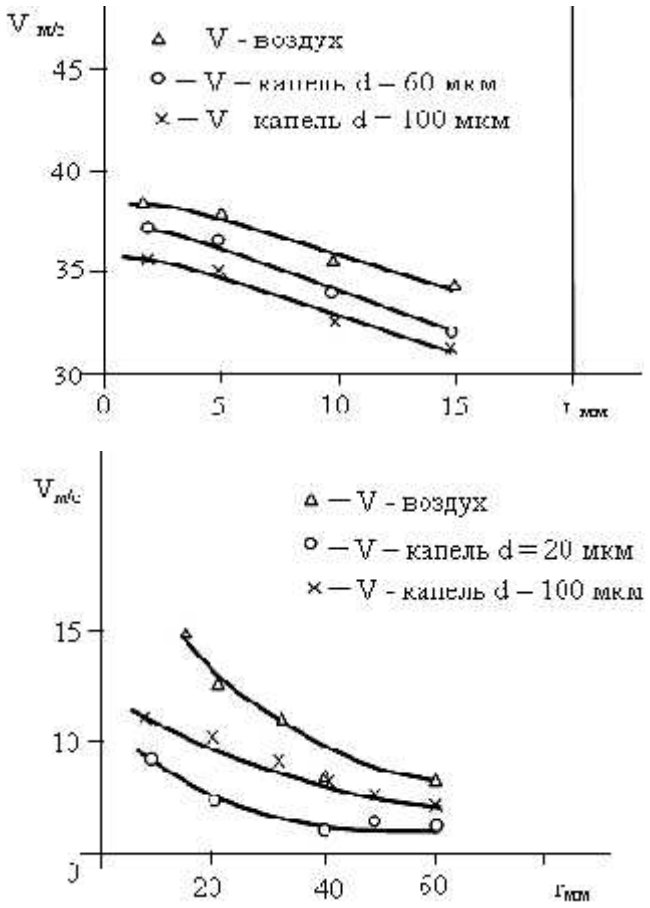


Рис. 4. Зависимость скорости движения капель от радиуса факела в различных сечениях X (V – скорость воздуха или капель, м/с)

Наблюдаемые экспериментальные данные и результаты их обсуждения не противоречат теоретическим представлениям Абрамовича [10] и Лаатса [11].

Таким образом, при соотношениях $G_в/G_ж$ от $1 \cdot 10^3$ до $5.5 \cdot 10^3$ в резервуаре 6 (рис. 1) жидкость находится в виде капель различного размера.

Время полета капли жидкости в объеме резервуара может быть вычислено по обычному баллистическому уравнению [12]:

$$\frac{dV}{d^2} = (\frac{°_{ж} - °_{в}}{°_{ж}})\vec{g} - \frac{3c}{8}\frac{°_{в}}{°_{ж}}\frac{2\bar{V}}{d} \qquad (6)$$

где V– скорость полета капельки, τ – время, g – ускорение силы тяжести, $\frac{d}{2}$ – радиус капельки, C– коэффициент трения.

Уравнение (6) интегрируется, если известна функция C = f($R_e$).

Эффективность сгорания при этом определяется как отношение энергии, выделенной единичной массой Na(Q) к максимально возможному ее теоретическому значению ($Q_т$) [13].

$$\frac{4®°_{ж}N(d_0{}^3 - d^3)Q}{3d^2\,\frac{4®}{3}°_{ж}Nd_0Q_m} = 1 - \frac{d^3Q}{d^3{}_0Q_m} \qquad (7)$$

где N – число капель в единицу времени, Q – энергия, выделенная единичной массой Na, $d_0$, d – соответственно размер капли в начальный момент и текущий.

Законы горения можно выразить как [13]:

$$d^2 - d^2{}_0 = -k\tau \qquad (8)$$

где k – константа горения.

При ламинарном потоке капель в сосуде реактора длина пламени может быть вычислена по формуле [15]:

$$L = \frac{V}{4®C_f D} \qquad (9)$$

где $C_f$ – мольная фракция топлива в непрореактированной стехиометрической смеси Na – $O_2$, D – коэффициент диффузии.

При турбулентном потоке [14] необходимая длина пламени вычисляется:

$$\frac{L}{d} = \frac{5{,}3}{C_f}\sqrt{\frac{T_f}{T_N d\tau}[C_f + (1 - C_f)\ \frac{M_s}{M_N}]} \qquad (10)$$

где $T_f$ – температура пламени, $T_N$ – температура сопла, τ – время, d – размер капель, $M_N$ – средний молекулярный вес топлива, $M_S$ – средний молекуляр-

ный вес окружающей среды.

При этом мольная доля кислорода в пламени для обеих течений может быть вычислена [13 – 14] по формуле:

$$\frac{X_{02}}{1-X_{02}} CD^{2/3} 0{,}16\{\frac{\varepsilon\beta(T_f - T_0)}{V}\}^{1/3} \qquad (11)$$

где C – мольная концентрация $O_2$, D – коэффициент диффузии $O_2$, ε – эмиссионная способность пламени, β – коэффициент объемного термического расширения, $T_\infty$ – температура среды вокруг пламени.

Между жидким Na и кислородом воздуха могут происходить следующие реакции:

$$4Na_{ж} + O_{2г} = 2Na_2O + \Delta H_{Na_2O} \qquad (12)$$

Эта реакция может происходить в паровой фазе, так что ре акцию в факеле можно записать в виде:

$$4Na_n + O_2 \rightarrow 2Na_2O + \Delta H \qquad (13)$$

Энергия реакции определяется из этих двух уравнений с использованием уравнения испарения Na:

$$2Na_{ж} \rightarrow 2Na_n + \Delta H_{возг.} \qquad (14)$$

Поэтому $\Delta H = \Delta H_{Na_2O} - \Delta H_{возг.}$

По этой модели энергия выделяется по реакции (13) и расходуется на нагревание жидкого Na, испарение части Na, который затем сгорает в средний интервал времени по закону (8).

Если предположить, что при переходе из одного состояния натрия в другое количество Na, сгоревшего в паровой фазе выделяет энергию достаточную для испарения того же количества Na, то общее уравнение может быть записано:

$$4Na_{ж} + O_2 \rightarrow 2Na_2O + \Delta H_{Na_2O} \qquad (15)$$

Таким образом, выделившаяся в этой реакции энергия расходуется только на нагревание продуктов сгорания окружающей среды и оставшегося жидкого Na. Более того, если рассматривать такое образование перекисей, то эта мо-

дель может быть использована для общей оценки массы продуктов, образующихся в определенной пропорции.

Для реализации модели необходимо, чтобы в момент времени τ = 0 весь Na находился в виде сферических капель одного размера, равномерно распределенных по объему. Это положение доказано нами при проведении гидродинамических исследований. Закон горения капли описывается уравнением (8), продукты горения представляют собой моноокись Na, перекись или смесь того и другого. Расчеты по уравнения модели и термодинамики (7–15), а также исследования проводились для начальных условий: $P_г$ – 0,102 мПа, $T_г$ – 20°С, $C_{02}$ – 21 %, $T_{Na}$ – 550 °С.

Расчет равновесной концентрации различных газовых или концентрированных систем Na – воздух показывает, что существует двухфазная область, в которой могут существовать моноокись и перекись Na, поэтому необходимо учитывать обе реакции:

$$4Na + O_2 \rightarrow 2Na_2O \qquad (16)$$
$$2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$$

Общее уравнение имеет вид:

$$2Na + (1-\frac{n}{2})\,O_2 \rightarrow mNa_2O + (1-m)\,Na_2O_2 \qquad (17)$$

Это равносильно предположению, что окись натрия в этом соотношении образуется непосредственно в пламени.

При проведении горячих экспериментов установлено, что температура воспламенения Na во влажной атмосфере $T_{восп}$ = 320 °С, в сухом воздухе $T_{восп}$= 200 °С, дисперсия капель Na в воздухе $T_{восп} \leq 150$ °С.

При этом ламинарное диффузионное пламя наблюдалось при соотношениях $Na/O_2$ от 6 : 1 до 8 : 1, радиус капель Na ≈250,0 мкм, $T_N$ = 900 °С, $T_f$ = 1200 °С, длина пламени 190 мм. Турбулентное пламя наблюдалось при соотношении $Na/O_2$ равном от 0,25 : 1 до 3 : 1, радиус капель 160 мкм, $T_N$ = 1100°С, $T_f$ = 1200 °С, длина пламени 230 мм.

На рисунке 5 приведена зависимость величины $T_f$ от соотношения $Na/O_2$.

На рисунке 6 приведены зависимости изменения давления в точке замера (рис. 2, поз. 6) от соотношения $Na/O_2$ и зависимость времени реакции τ от Р.

Спектроскопические измерения показали, что при Т = 350 – 400 °С наблюдается химическое возбуждение Na полосы 400 – 500 мм и хемилюминес-

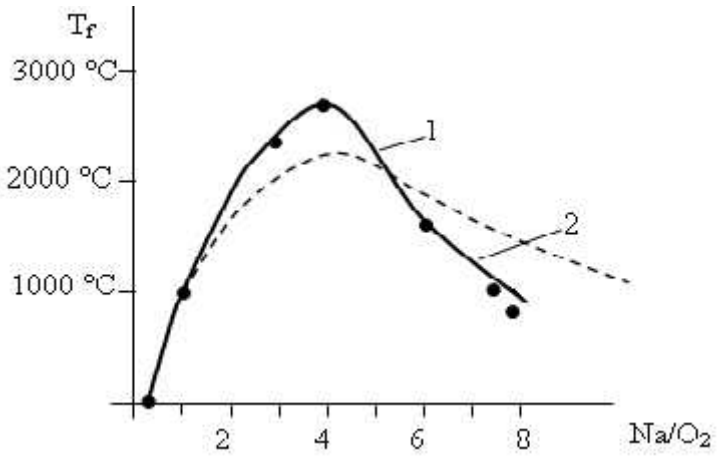


Рис. 5. Зависимость $T_f$ от соотношения $Na/O_2$
(1 – мгновенное сгорание, 2 – расчетная кривая).

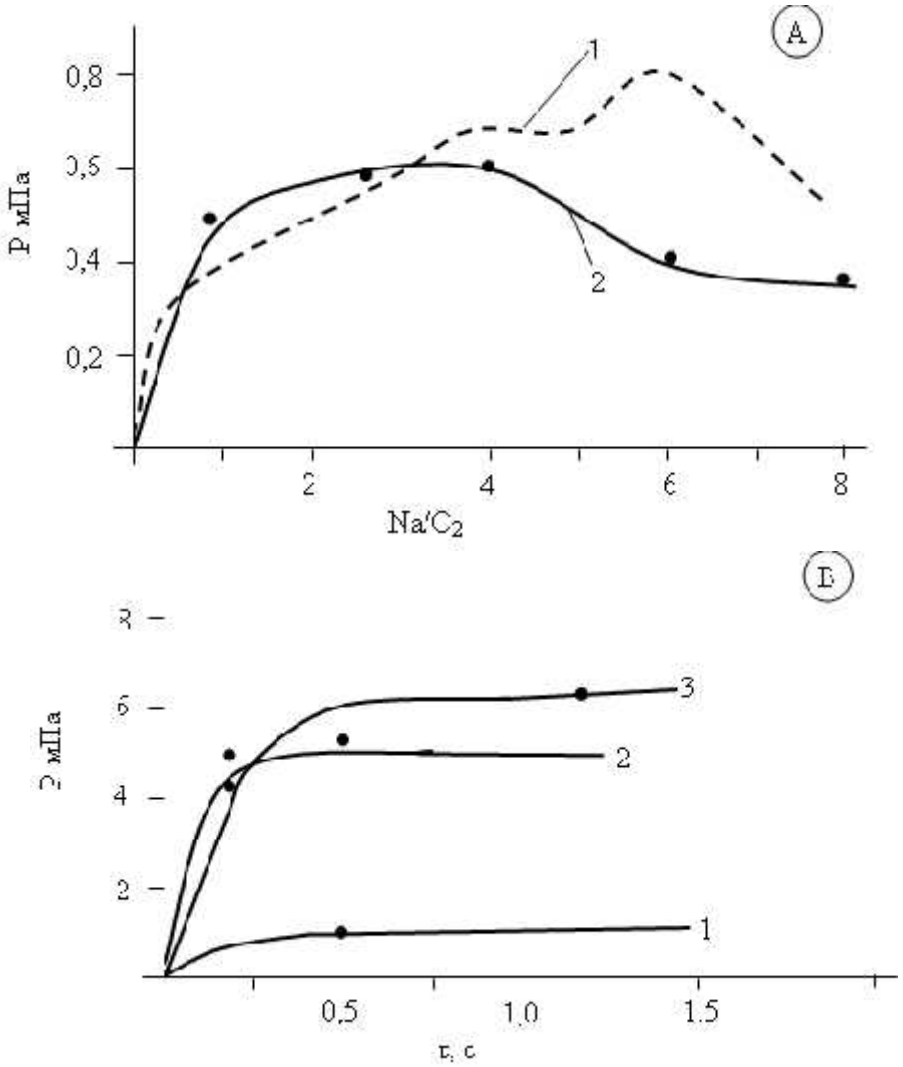


Рис. 6. Влияние соотношения $Na/O_2$ на давление и время реакции
А – 1 – мгновенное сгорание; 2 – расчетная кривая.
В – 1 – $Na/O_2$ = 0,25; 2 – $Na/O_2$ = 3; 3 – $Na/O_2$ = 4.

ценция поверхности капли, при температуре в резервуаре T∞ = 700 °C наблюдаются характерные линии 512 и 470 мм с энергетическими характеристиками 232 кДж/моль и 253 кДж/моль.

Это взаимодействие $N^{+} + O_2^{-} \rightarrow NaO + hV$, при котором наблюдаются линии характерные для Na – 589 нм.

Причем при ламинарном пламени на каплях гетерогенная реакция проходит с ростом оксидной пленки.

При турбулентном пламени зона горения близка к поверхности капли Na, но реакция протекает в паровой фазе на расстоянии ~ 1….1,5 мм. В обоих случаях в центре факела, где $T_f \geq 1400$ °C система состоит из атомов $Na^{+}$ и молекул кислорода $O_2^{-}$, молекулы NaO и $Na_2O$ при этих условиях не зафиксированы. Очевидно, при этих условиях наблюдается равновесие:

$$2Na_2O_{ж} \leftrightarrow 4Na_n + O_{2г} \qquad (17)$$

Значения констант диссоциации α вычислялись при различных $T_f$. Эти значения можно аппроксимировать следующим эмпирическим уравнением:

$$\alpha = AI^2 + BI + C \qquad (18)$$

где $A = 8{,}20045 \cdot 10^{-6}$; $B = 8{,}540059 \cdot 10^{-3}$; $C = -1{,}048528 \cdot 10^{-1}$; I – энергия ионизации Na.

Расчеты показали, что реакция (17) не лимитирует процесс, константа горения k для частиц диаметром 500 мкм равна $k = 4k_p$, для частиц диаметром 200 – 240 мкм – $k = k_p/4$. Здесь $k_p$– константа равновесия реакции (17).

Вышеприведенные зависимости подтверждаются зависимостями скорости горения натрия при различных температурах T∞ и определением концентраций образования $Na_2O$ в зонах, близких к факелу (см. рис. 7.).

В результате анализа вышеприведенных результатов можно утверждать, что окисление Na и образование окиси и перекиси натрия протекает по схеме, которая приведена на рис. 8.

**Выводы:**

– исследована тонкая структура факела распыла, полученного с применением различных устройств и оптических методов; установлено, что распыляющие устройства, действия которых основаны на эффекте сталкивающихся струй, позволяют получать более тонкие дисперсии капель в реакционном

объеме от 60 до 200 мкм; определено распределение капель по размерам в зависимости от типа устройства, условия их дробления и гидродинамического взаимодействия при их сталкивании; определено, что основными величинами, которые влияют на размер капель являются соотношения $G_г/G_ж$ и критерий Вебера ($W_e$).

– установлено, что начальный размер капли является основным фактором, определяющим время горения и количество сгоревшего Na, при этом крупные капли размером более 300 мкм могут сгорать не полностью и оседать на стойках реактора, где горение будет происходить в стекающей пленке Na по известным законам.

– установлено, что капли Na размерами менее 250 мкм сгорают в соответствии с механизмом, который включает испарение Na, после чего протекание реакции с кислородом воздуха в парофазовой среде; реакционная зона при этом располагается на расстоянии примерно 1 – 1,5 мм от поверхности капли.

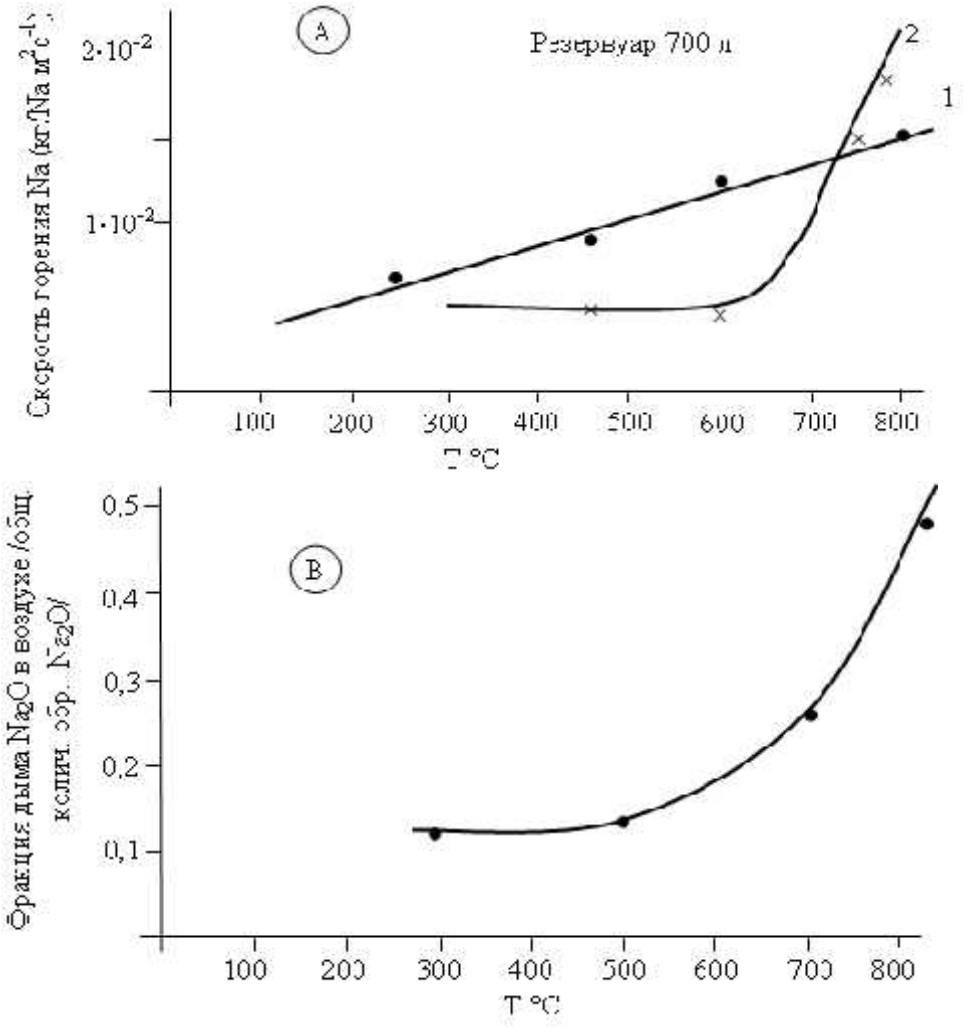


Рис.7. Влияние температуры T∞ и размеров резервуара на кинетику горения.
A – 1– $d_p$= 0,1 м; 2 – $d_p$= 0,22 м; B – $d_p$= 0,1 м.

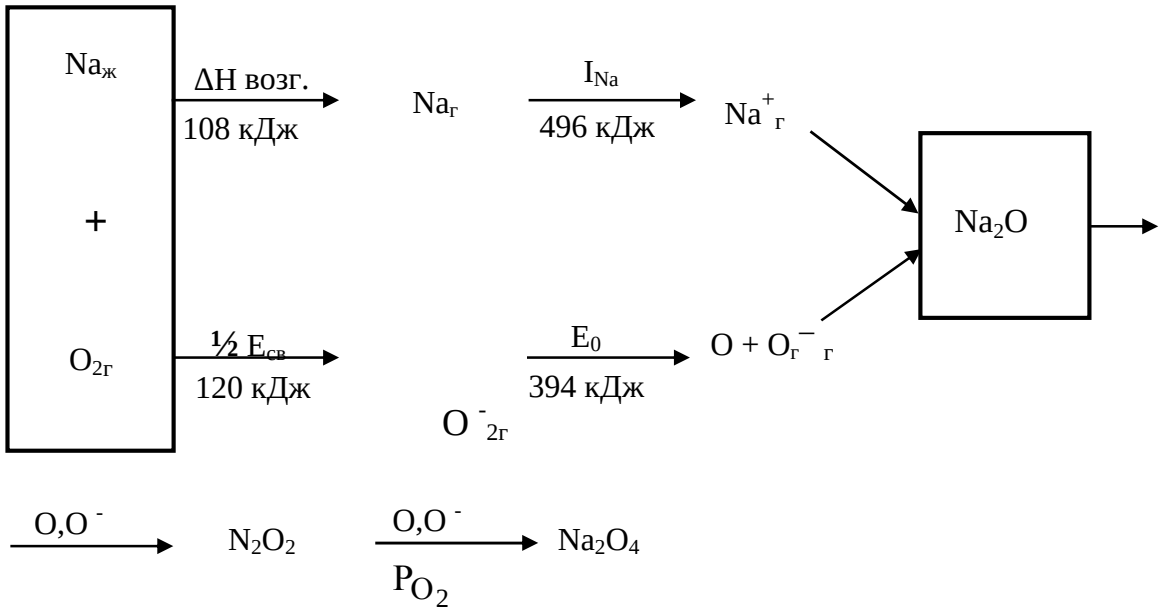


Рис. 8. Схема образования перекиси натрия

– на основе термодинамического анализа и экспериментальных данных представлен механизм образования перекисных соединений Na, который учитывает основное взаимодействие между Na и $O_2$ в паровой фазе.

**Список литературы: 1.** *Вольнов И.И.* Перекиси, надперекиси и озониды щелочных и щелочноземельных металлов/ АН СССР, инст. Общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова., изд. «Наука», М., 1964. **2.** *Вольнов И.И.* Перекисные соединения щелочных металлов.– М., «Наука», 1980. **3.** *А.Ф. Алабышев* Натрий и калий. – М. Химия, 1959. **4.** *I.Charpenel* Sodium Spray fires – Specia – Lists meeting on sodium fires, Caradache, 1978, 24 pp. **5.** *Ринкевичюс Б.С.* Доплеровский метод измерения локальных скоростей с помощью лазеров// Успехи физических наук, 1973, вып.2, с. 305 – 330. **6.** *Боровой Б.Я.* Визуализация пространственного обтекания моделей с помощью «лазерного потока» // Уч. Зап. ЦАГИ, 1973, т.4., №5., с. 42 – 49**. 7.** *В.А. Бородуля., А.К. Гребенков., В.И. Рубежанский и др.* Исследование гидродинамики и дисперсной структуры факела распыла форсунки методами лазерной диагностики// ИФЖ, 1984, т. XLVII, №6, с. 936 – 940. **8.** *Neiman R.N.* CECB Report RO/B №2412, 1972. **9.** *Ахимов А.П., Папырин А.Н.* Некоторые применения метода скоростной лазерной визуализации для исследования двухфазных потоков// Тр. ЦАГИ., вып. 1975, 1976., с. 175 – 181. **10.** *Абрамович Г.Н., Бажанов В.И., Гиршович Т.А.* Турбулентная струя с тяжелыми примесями// Изд. АНСССР Механика жидкости и газа, 1972, №6, с.41 – 49. **11.** *Вематов В., Лаатс М., Картушинский А., Фридман Ф.* Интегральный метод расчета двухфазной неравновесной струи// Изв. АН СССР Физ. И матем., 1977., т.26 №4, с. 445 – 449. **12.** *B.C. Walkep, C.R.Kirby and R.I. Yilliams* Discretization and Integration of the Equation Cowering Aerosol Behaviour// SRD. R. 98, July, 1978. **13.** *Билсборо Р., Кэн П.Д., Хьюман Р.Н.* An Overview of Sodium fires Related studies in the IK IAEA Spesialists. Meeting on Sodium fires and Prevention November 20 – 24, 1978, Cadarache, France, 44 pp. **14.** *Sagava N.* Energy rellase from sodium spray combustion IAEA – IWGFR Specilists Meeting on Sodium Fire sand Prevention, Cadarache, November, 1978., 42 pp.

*Поступила в редколлегию 15.10.06*