**Оглавление**

[Введение 2](#_Toc71223580)

[1.1. Анализ вредных и опасных факторов 3](#_Toc71223581)

[1.2. Оценка выбросов при огневых стендовых испытаниях 4](#_Toc71223582)

[1.2.1. Состав продуктов сгорания 4](#_Toc71223586)

[1.3. Акустический расчет. Расчет звукоизоляции кабины для персонала… 7](#_Toc71223587)

[Список литературы 12](#_Toc71223588)

[Приложение Б. Термодинамический расчет 13](#_Toc71223589)

# Введение

В данном разделе дипломного проекта рассмотрены вопросы безопасности и охраны окружающей среды и персонала при проведении огневых стендовых испытаний проектируемого двигателя. Испытания могут проводиться как для образца в целом, так и для отдельных узлов и агрегатов. С точки зрения безопасности и экологии наибольший интерес представляют огневые стендовые испытания.

Работы, выполняемые в процессе подготовки и проведения огневых стендовых испытаний РДТТ, являются огне- и взрывоопасными, поэтому на производственных участках испытательных баз необходимо осуществлять специальный режим техники безопасности, а также режим повышенной требовательности и тщательного исполнения положений и норм соответствующих нормативных документов. Кроме того, для возможного проведения комплекса работ с использованием зарядов твёрдого топлива и средств пироавтоматики, представляющих собой высокоэнергетические конденсированные системы, необходимы специально аттестованные помещения, а также лицензии и разрешения соответствующих органов.

Огневые стендовые испытания предполагается проводить на горизонтальном стенде, который размещается в закрытом боксе. Отсеки стенда представляют собой отделенные друг от друга монолитными железобетонными перегородками помещения, вход в которые производится через бронедвери. При этом предусмотрены системы, предотвращающие прохождение команд на включение двигателя при наличии открытых бронедверей, также предусмотрена световая и звуковая сигнализация при превышении предельно допустимой концентрации вредных веществ в отсеках стенда. С целью уменьшения разрушений стендового корпуса при аномальных огневых испытаниях потолки отсеков выполнены легкосбросными.

## Анализ вредных и опасных факторов

Стадия огневых стендовых испытаний РДТТ содержит в себе этапы, сопровождающиеся влиянием вредных и опасных факторов на человека и окружающую среду.

Вредный фактор может стать опасным в зависимости от уровня и продолжительности воздействия на человека.

Применительно к огневым стендовым испытаниям РДТТ можно выделить:

* + 1. Опасные факторы:
* взрывоопасность;
* пожароопасность.
  + 1. Вредные факторы:
* шум реактивной струи истекающих из сопла ПС;
* токсичность топлив и ПС.

Смесевое ракетное топливо обладает повышенной взрыво- и пожароопасностью. В соответствии с [1] производство, связанное с ракетными топливами, можно отнести к категории А – взрывоопасные.

Вибрации возникают непосредственно при проведении эксперимента. Источником их является объект испытаний. Виброколебания при испытаниях крупногабаритных РДТТ не влияют на обслуживающий персонал, поскольку он должен быть удалён со стенда в специальный защитный пультовой бокс.

В рассматриваемом помещении применено искусственное освещение, которое осуществляется люминесцентными лампами дневного света установленных на открытых светильниках. По конструктивному исполнению освещение является общим – светильники располагаются равномерно по потолку.

Возможным источником поражения электрическим током являются провода осветительной системы. В помещении поставлены металлические полы, существует высокая вероятность соприкосновения с металлическими предметами. Таким образом, помещение относится к разряду помещений с повышенной опасностью поражения электрическим током. Исходя из этого, в соответствии с [3] приняты следующие меры:

* электропровода проходят в местах наименьшей вероятности их повреждения и контакта с металлическими предметами и человеком;
* испытательный стенд и пульт заземлены.

## Оценка выбросов при огневых стендовых испытаниях

При огневых стендовых испытаниях двигателей основной проблемой с точки зрения охраны окружающей среды является выброс в окружающую среду вредных веществ, содержащихся в продуктах сгорания ракетного топлива.



### Состав продуктов сгорания

Состав продуктов сгорания получен с помощью программы «TERRA» и приведен в приложении Б.

В программе «TERRA» содержание компонентов в продуктах сгорания имеет размерность [моль/кг] (количество вещества на 1 кг продуктов сгорания). Умножая эту величину на молярную массу вещества, можно получить массовое содержание . Зная массу стартового заряда, можно определить, сколько килограммов каждого вещества выделилось в процессе работы РДТТ.

Результаты представлены в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Вещество |  |  |  |  |
| 1 | H2 | 2,1375 | 2,016 | 0,431 | 1,865 |
| 2 | HCl | 2,5207 | 36,461 | 9,191 | 39,787 |
| 3 | CO | 3,3809 | 28,010 | 9,470 | 40,995 |
| 4 | Al2O3 (к) | 3,9018 | 101,960 | 39,783 | 172,220 |
| 5 | N2 | 3,8553 | 28,014 | 10,800 | 46,754 |
| 6 | CO2 | 2,0946 | 44,009 | 9,218 | 39,905 |
| 7 | H2O | 8,9243 | 18,015 | 16,077 | 69,598 |
| 8 | AlCl | 0,0022 | 62,435 | 0,014 | 0,059 |

По гигиеническим нормативам ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» ПДК веществ, входящих в состав ПС рассмотренного топлива, принимают значения, представленные в таблице 1.2.2.

Таблица 1.2.2 – Предельно допустимые концентрации

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Вещество |  |
| 1 | H2 | не норм. |
| 2 | HCl | 0,2 |
| 3 | CO | 3 |
| 4 | Al2O3 (к) | 6 |
| 5 | N2 | не норм. |
| 6 | CO2 | 27000 |
| 7 | H2O | не норм. |
| 8 | AlCl | не норм. |

Из таблицы 1.2.2 видно, что при работе РДТТ наиболее вредными являются следующие компоненты HCl, CO, Al2O3 (к), CO2. Рассмотрим влияние этих веществ на здоровье человека и окружающую среду.

Оксид углерода крайне опасен для здоровья. СО вдыхается вместе с воздухом и поступает в кровь, где конкурирует с кислородом за молекулы гемоглобина. Оксид углерода, имея двойную химическую связь, соединяется с гемоглобином более прочно, чем молекула кислорода. Нарушается способность крови доставлять кислород к тканям и органам, в результате чего возможна потеря сознания и смерть. Опасность усугубляется отсутствием у оксида углерода цвета и запаха. Относится к веществам II класса опасности.

Хлороводород также очень опасен. Он оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки и дыхательные пути. Относится к веществам II класса опасности.

Оксид алюминия пожаро- и взрывобезопасен, по степени воздействия на организм человека относится к веществам III класса опасности. Но следует учитывать, что в составе ПС оксид алюминия присутствует в вид мелкодисперсных частиц, которые могут нанести вред здоровью человека. Поэтому следует принять меры по очистке воздуха от твёрдых частиц.

Диоксид углерода относится к IV классу опасности. Диоксид углерода не является токсичным веществом, поэтому считается безвредным для организма человека. Но является ускорителем процесса всасывания веществ в слизистую желудка.

Требуемое состояние рабочей зоны может быть обеспечено следующими мероприятиями:

* дистанционное управление процессами испытаний;
* применение средств индивидуальной защиты;
* использование автоматической системы сигнализации о превышении уровня ПДК вредных веществ.

Потребный объем воздуха определяется по формуле:

,

Радиус рассеивания ПС:

.

Таблица 1.2.3 – Потребные характеристики

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Вещество |  |  |
| 1 | H2 | — | — |
| 2 | HCl |  | 456,3 |
| 3 | CO |  | 186,861 |
| 4 | Al2O3 (к) |  | 239,308 |
| 5 | N2 | — | — |
| 6 | CO2 |  | 8,903 |
| 7 | H2O | — | — |
| 8 | AlCl | — | — |

Из данных таблицы 1.2.3 видно, что санитарно-защитная зона полигона должна составлять не менее 250 м. При таком расстоянии концентрация вредных веществ достигает достаточного уровня ПДК атмосферного воздуха.

## Акустический расчет. Расчет звукоизоляции кабины для персонала

РДТТ является источником мощных акустических шумов.

Шум – это сочетание звуков различных по силе и частоте, способное оказывать воздействие на организм. Шум создаёт значительную нагрузку на органы слуха человека, а также угнетает центральную нервную систему, оказывая негативное воздействие. Для реактивных двигателей характерны высокие уровни шума (свыше 140 дБ), опасные для здоровья человека. Следовательно, необходимо рассчитать безопасное расстояние, на котором следует организовать пульт управления и наблюдения при испытаниях двигателя.

Исходные данные для расчета:

* диаметр среза сопла , ;
* скорость истечения газа ;
* плотность струи газа .

При проведении испытаний главным источником шума является высокоскоростная выхлопная струя.

Общий уровень звуковой мощности выхлопной струи двигателя [4]:



где  величина, зависящая от температуры струи газ, .

Октавные уровни звуковой мощности струи:

,

где  разность между общим уровнем звуковой мощности и октавным уровнем звуковой мощности со среднегеометрической частотой , значение которой находят в зависимости от безразмерного параметра – числа Струхаля, определяемого для каждой третьоктавной частоты [5]:

.

Соответствующие значения представлены в таблице 1.3.1.

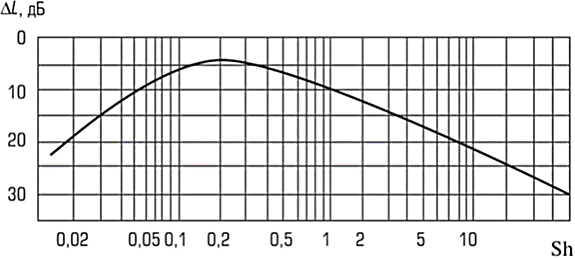


Рисунок 1.3.1 – Зависимость относительного спектра звуковой мощности струи от числа Струхаля

Таблица 1.3.1- Зависимость разности уровня звуковой мощности от числа Струхаля

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 31,5 | 0,003625 | 25 | 169,161 |
| 63 | 0,007249 | 23 | 171,161 |
| 125 | 0,014384 | 21 | 173,161 |
| 500 | 0,057536 | 9 | 185,161 |
| 1000 | 0,115071 | 5 | 189,161 |
| 2000 | 0,230143 | 4,5 | 189,661 |
| 4000 | 0,460286 | 6 | 188,161 |
| 6000 | 0,690429 | 7 | 187,161 |
| 8000 | 0,920571 | 9 | 185,161 |

Нормативные значения  устанавливаем по ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности», полагая, что помещение относится к помещениям с речевой связью по телефону.

Таблица 1.3.2 – Допустимые уровни шума на рабочих местах для соответствующих среднегеометрических частот

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|  | 96 | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 |

Для дальнейшего расчета потребуется задаться расстоянием от источника шума до пункта управления, а также материалом, из которого он построен, пусть стена будет выполнена из железобетонных плит толщиной 500 мм.

Уровень снижения шума будет определяться по следующей формуле:

,

где  расстояние от источника шума до расчетной точки, ;  расстояние замера уровня шума от источника, ;  поверхностная плотность железобетонной плиты, ; постоянная, зависящая от размеров и формы звукоизолирующей перегородки, .

Фактическое значение уровня шума от источника:

.

Таблица 1.3.3 – Уровень снижение шума и нормативные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|  | 169,2 | 171,2 | 173,2 | 185,2 | 189,2 | 189,7 | 188,2 | 187,2 | 185,2 |
|  | 99,5 | 105,5 | 111,5 | 123,5 | 129,5 | 135,6 | 141,6 | 145,1 | 147,6 |
|  | 69,7 | 65,6 | 61,7 | 61,6 | 59,6 | 54,1 | 46,6 | 42,1 | 37,6 |
|  | 96 | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 |

Рисунок 1.3.2 – Уровень звуковой мощности выхлопной струи

На всех среднегеометрических частотах уровень звуковой мощности меньше допустимых значений для данного типа выполняемых работ.

Следовательно, можно сделать вывод, что выбранное местоположение и материал звукоизоляции позволяют снизить уровень шумового воздействия до нормативных значений.

# Список литературы

* + 1. ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность».
    2. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
    3. ГОСТ 12.1.019-79 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
    4. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н. И. Иванов, Москва: Логос, 2016. 424 c.
    5. Белов С.В., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф., Павлихин Г.П. Охрана окружающей среды – Москва: «Высшая школа», 1983 - с.264
    6. Бобылев, В.Н. Изоляция воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.В. Монич. – Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. – 67 с.

# Приложение Б. Термодинамический расчет

Исходный состав:

(C5.213H24.948O28.408N7.428Cl2.979Al7.413[-2034] - 0.998) +

(C5.268H4.800O12.375N2.062Cl3.663Al22.237[-64.39] - 0.002)

Состав, моль/кг: C 5.4755 H 26.1645 O 29.8067 N 7.7914 Cl3.1303 Al7.8151

1-й параметр: p(кам) =5

2-й параметр: I = -2030.061

Расширение: p(a), МПа =0.03 (равновесное)

Равновесные параметры при p(кам)=5 МПа, p=5 МПа (камера, СИ):

p=5 T=3906.2 v=0.183784 S=8.87345 I=-2030.06

U=-2878.85 M=31.9669 Cp=1.81663 k=1.14876 Cp'=6.49239

k'=1.18683 Ap=0.0005576 Bv=0.0005198 Gt=0.218428e-6 MMg=22.1076

Rg=376.087 Cpg=1.94772 kg=1.2393 Cp'g=7.84797 k'g=1.2147

Mu=0.0001035 Lt=0.355691 Lt'=2.19692 Pr=0.566496 Pr'=0.36956

A=1008.29 z=0.374489 Bm=0.140977 n= - w=0

Mach=0 Frel= - F'= - alpha=0.877379 Dens= -

Равновесные концентрации (моль/кг):

e- = 0.1763e-4 O = 0.75926 O+ = 0.1903e-10 O- = 0.1925e-5

O2 = 0.66859 O2+ = 0.3311e-8 O2- = 0.2681e-6 O3 = 0.6176e-5

H = 1.7385 H+ = 0.5057e-10 H- = 0.4006e-6 H2 = 2.9299

H2+ = 0.4980e-11 H3+ = 0.2307e-9 OH = 2.2669 OH+ = 0.1011e-8

OH- = 0.6179e-5 HO2 = 0.00369 HO2- = 0.2324e-8 H2O = 6.8972

H2O+ = 0.1836e-7 H2O2 = 0.3782e-3 H3O+ = 0.6359e-6 Cl = 0.8259

Cl+ = 0.4649e-9 Cl- = 0.3415e-3 Cl2 = 0.00121 ClO = 0.00636

ClO2 = 0.1040e-5 Cl2O = 0.1411e-6 HCl = 2.1448 HOCl = 0.00166

N = 0.0018 N2 = 3.6807 N2+ = 0.1407e-11 N3 = 0.9000e-8

NO = 0.42609 NO+ = 0.1801e-5 NO2 = 0.3703e-3 NO2+ = 0.7581e-10

NO2- = 0.1265e-7 NO3- = 0.7657e-11 N2O = 0.7474e-4 N2O3 = 0.2847e-9

NH = 0.5990e-3 NH2 = 0.2041e-3 NH3 = 0.7342e-4 NH4+ = 0.1076e-9

N2H2 = 0.4018e-7 N2H4 = 0.4661e-11 HN = 0.2700e-8 HNO = 0.5472e-3 ClNO = 0.6171e-4 ClNO2 = 0.4729e-8 C = 0.1988e-6 C2 = 0.2852e-11

CO = 4.3293 CO+ = 0.1414e-9 CO2 = 1.1454 CO2+ = 0.3645e-9 C2O = 0.1326e-7 C3O2 = 0.3724e-11 CH = 0.6470e-7 CH2 = 0.4623e-7

CH3 = 0.4132e-7 CH4 = 0.6017e-8 C2H = 0.1785e-10 C2H2 = 0.1249e-9

HCO = 0.4915e-3 HCO+ = 0.3964e-7 COOH = 0.2144e-3 H2CO = 0.9655e-5

CH2OH = 0.2178e-7 CCl = 0.1051e-6 CCl2 = 0.6990e-9 ClCO = 0.6937e-4

Cl2CO = 0.3928e-7 CHCl = 0.8576e-8 CH2Cl = 0.5135e-8 CH3Cl = 0.2316e-9

CN = 0.2395e-5 CN- = 0.4361e-8 NCN = 0.6690e-9 CNN = 0.1243e-10

ClCN = 0.2148e-6 Al = 0.00585 Al+ = 0.3873e-3 Al2 = 0.1606e-6 AlO = 0.05109 AlO- = 0.2132e-4 AlO2 = 0.00751 AlO2- = 0.6171e-6

Al2O = 0.00201 Al2O2 = 0.00406 Al2O3(c) = 3.6729 Al2O3 = 0.1708e-3

AlH = 0.6295e-3 AlH2 = 0.2841e-5 AlH3 = 0.1001e-6 AlOH = 0.21227

HAlO = 0.4356e-3 HAlO2 = 0.00553 Al(OH)2 = 0.02454 Al(OH)3 = 0.01162

AlCl = 0.0653 AlCl2 = 0.00325 AlCl3 = 0.3629e-3 Al2Cl6 = 0.2360e-11

ClAlO = 0.02986 Cl2AlO = 0.1618e-3 AlHCl = 0.2127e-3 AlH2Cl = 0.3556e-5

AlN = 0.1330e-4 AlC = 0.5165e-9

Равновесные параметры при p(кам)=5 МПа, p=2.9199 МПа (кр. сечение, СИ):

p=2.91985 T=3745.24 v=0.298465 S=8.87345 I=-2511.45

U=-3313.55 M=31.7231 Cp=1.81432 k=1.14712 Cp'=6.40452

k'=1.1794 Ap=0.0005698 Bv=0.0005338 Gt=0.372558e-6 MMg=22.1177

Rg=375.915 Cpg=1.94768 kg=1.23917 Cp'g=8.09876 k'g=1.2064

Mu=0.0001007 Lt=0.344362 Lt'=2.19376 Pr=0.569505 Pr'=0.371725

A=981.214 z=0.381007 Bm=0.141254 n=1.10933 w=981.214

Mach=1 Frel=1 F'=0.0003042 Isp=1869.37 B=1520.9

Равновесные концентрации (моль/кг):

e- = 0.1198e-4 O = 0.68983 O+ = 0.6825e-11 O- = 0.9407e-6

O2 = 0.64372 O2+ = 0.1539e-8 O2- = 0.1215e-6 O3 = 0.3381e-5

H = 1.6493 H+ = 0.1896e-10 H- = 0.1866e-6 H2 = 2.8714

H2+ = 0.1499e-11 H3+ = 0.9081e-10 OH = 2.1042 OH+ = 0.4034e-9

OH- = 0.3231e-5 HO2 = 0.00268 HO2- = 0.8699e-9 H2O = 7.1094

H2O+ = 0.8444e-8 H2O2 = 0.2529e-3 H3O+ = 0.3715e-6 Cl = 0.8214

Cl+ = 0.1976e-9 Cl- = 0.2411e-3 Cl2 = 0.9920e-3 ClO = 0.00494

ClO2 = 0.6039e-6 Cl2O = 0.7881e-7 HCl = 2.1899 HOCl = 0.00125

N = 0.00124 N2 = 3.7081 N3 = 0.3840e-8 NO = 0.37263

NH2 = 0.1197e-3 NH3 = 0.4496e-4 NH4+ = 0.4552e-10 N2H2 = 0.1704e-7

C = 0.8503e-7 CO = 4.2618 CO+ = 0.5214e-10 CO2 = 1.2132

CH2 = 0.1798e-7 CH3 = 0.1679e-7 CH4 = 0.2396e-8 C2H = 0.4593e-11

C2H2 = 0.3832e-10 HCO = 0.3005e-3 HCO+ = 0.1924e-7 COOH = 0.1365e-3

CH4O = 0.1566e-9 CH2OH = 0.8171e-8 CCl = 0.4575e-7 CCl2 = 0.2795e-9

ClCO = 0.4176e-4 Cl2CO = 0.2113e-7 CHCl = 0.3349e-8 CH2Cl = 0.1975e-8

HClCO = 0.7862e-6 CN = 0.1144e-5 CN- = 0.1529e-8 NCN = 0.2214e-9

CNN = 0.3469e-11 C2N2 = 0.1526e-11 NCO = 0.1084e-5 HCN = 0.1214e-4

Al2 = 0.5108e-7 AlO = 0.03536 AlO- = 0.1053e-4 AlO2 = 0.00452

AlO2- = 0.2848e-6 Al2O = 0.00113 Al2O2 = 0.00235 Al2O3(c) = 3.7368

Al2O3 = 0.8785e-4 AlH = 0.3503e-3 AlH2 = 0.1167e-5 AlH3 = 0.3747e-7

AlOH = 0.15982 HAlO = 0.2516e-3 HAlO2 = 0.00389 Al(OH)2 = 0.01578

Al(OH)3 = 0.00805 AlCl = 0.05001 AlCl2 = 0.00223 AlCl3 = 0.2671e-3

ClAlO = 0.02361 Cl2AlO = 0.1011e-3 AlHCl = 0.1140e-3 AlH2Cl = 0.1664e-5

AlN = 0.5755e-5 AlC = 0.1402e-9

Равновесные параметры при p(кам)=5 МПа, p=0.03 МПа (вых. сечение, СИ):

p=0.03 T=2689.63 v=19.0665 S=8.87345 I=-5753.08

U=-6261.67 M=29.4801 Cp=1.77501 k=1.13612 Cp'=5.33012

k'=1.12573 Ap=0.0006401 Bv=0.0006205 Gt=0.0000353 MMg=23.5421

Rg=353.17 Cpg=1.89218 kg=1.22948 Cp'g=7.726 k'g=1.14572

Mu=0.0000805 Lt=0.25341 Lt'=1.58326 Pr=0.601173 Pr'=0.392882

A=790.025 z=0.397834 Bm=0.147118 n=1.10213 w=2728.74

Mach=3.454 Frel=22.9709 F'=0.0069873 Isp=2938.36 B= -

Равновесные концентрации (моль/кг):

e- = 0.1461e-6 O = 0.17032 O- = 0.4335e-9 O2 = 0.28558

O2- = 0.2806e-10 O3 = 0.1059e-7 H = 0.73826 H- = 0.6554e-10

H2 = 2.1375 OH = 0.77374 OH- = 0.3457e-8 HO2 = 0.1005e-3

H2O = 8.9243 H2O+ = 0.7154e-11 H2O2 = 0.5408e-5 H3O+ = 0.3778e-8

Cl = 0.6041 Cl- = 0.4659e-5 Cl2 = 0.1538e-3 ClO = 0.3514e-3

ClO2 = 0.2843e-8 Cl2O = 0.3155e-9 HCl = 2.5207 HOCl = 0.8604e-4

N = 0.2712e-4 N2 = 3.8553 N3 = 0.1501e-11 NO = 0.08074

NO+ = 0.9966e-8 NO2 = 0.7658e-5 N2O = 0.1088e-5 NH = 0.3493e-5

ClNO2 = 0.3292e-11 C = 0.2405e-10 CO = 3.3809 CO2 = 2.0946

CH = 0.3019e-11 CH2 = 0.3096e-11 CH3 = 0.5552e-11 HCO = 0.3198e-5

HCN = 0.5464e-7 HNC = 0.6481e-8 ClCN = 0.1976e-9 Al = 0.3119e-4

Al+ = 0.4800e-5 AlO = 0.5010e-3 AlO- = 0.3816e-8 AlO2 = 0.1674e-4

AlO2- = 0.5808e-10 Al2O = 0.1515e-5 Al2O2 = 0.4566e-5 Al2O3(c) = 3.9018

Al2O3 = 0.5970e-7 AlH = 0.7250e-6 AlH2 = 0.1623e-9 AlH3 = 0.2730e-11

AlOH = 0.00596 HAlO = 0.7577e-6 HAlO2 = 0.7900e-4 Al(OH)2 = 0.1757e-3

Al(OH)3 = 0.2529e-3 AlCl = 0.0022 AlCl2 = 0.4449e-4 AlCl3 = 0.1410e-4

AlN = 0.1142e-8