

УДК 504.3.054:681.7.069.24

ВОЗМОЖНОСТИ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ В РЕАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАЗЕРОВ

М.М.Троянов, Ю.Д.Ильичев

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



Исследуются возможности реального приборного определения поглощающих примесей в атмосфере методом дифференциального поглощения при использовании CO_2 -лазеров на изотопах.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем, связанных с бурным развитием энергетики, является экологическая проблема загрязнения атмосферного воздуха различными газами и аэрозолями. В частности, в некоторых высокоразвитых странах (например, Германия, Франция) в связи с выбросом тепловыми электростанциями в атмосферу больших количеств сернистого ангидрида в последнее время замечен крен в государственной политике и в общественном сознании в пользу развития атомной энергетики. Поэтому весьма актуальным является исследование возможностей различных методов контроля и мониторинга загрязняющих примесей в атмосфере, в особенности дистанционными методами. Одним из таких методов является метод дифференциального поглощения и рассеяния лазерного излучения (ДПР) [1]. При осуществлении такого метода чрезвычайно важной является проблема учета параметров атмосферы.

РАСЧЕТ ФУНКЦИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Для реальной атмосферы характерно присутствие целого комплекса примесей, каждая из которых имеет свой индивидуальный спектр поглощения, в результате чего поглощение на данной длине волны представляет собой линейную комбинацию поглощений всех газовых компонент. При этом линии излучения используемых лазеров далеко не всегда совпадают с резонансными линиями поглощения детектируемого газа, а относительно малые концентрации загрязняющей примеси могут сделать невозможным выделить полезный сигнал на фоне «шума» за счет поглощения основными атмосферными компонентами даже вблизи резонансных линий. Поэтому достаточно актуальной темой является разработка методов определения параметров лазерных излучателей (длин волн, мощности зондирующего сигнала и т. п.), с помощью которых можно обнаружить искомую примесь на фоне реальной атмосферы.

В качестве исходного материала для расчета фонового поглощения атмосферой лазерного излучения на определенной длине волны могут быть использованы данные, имеющиеся в атласах линий поглощения различных газов. В настоящее время накоплены значительные банки данных по спектрам поглощения различных газов и разработаны методы расчета на ЭВМ функций поглощения излучения для многокомпонентной примеси в атмосфере. Видимо, наиболее полным и информативным является банк данных «Хитран-91» [2], который включает данные о 650 тыс. линий поглощения для тридцати газов в инфракрасном диапазоне, в спектральной области от 0 до 21390 см⁻¹. Авторами данной работы созданы программные средства для этого банка, позволяющие рассчитывать спектры поглощения газов и их смесей как по горизонтальным, так и по наклонным трассам. Таким образом, содержащаяся в банке данных «Хитран-91» информация о линиях поглощения атмосферных газов и малых газовых составляющих используется для расчета спектров 30 различных газов и их смесей в инфракрасном диапазоне, что может быть применено для оценок поглощения лазерного излучения реальной атмосферой.

Все имеющиеся в компиляции данные приведены для нормального атмосферного давления (в приземном слое атмосферы) и температуры 23°C. Поэтому в связи с тем, что интенсивность линий зависит от температуры, а полуширины линий - от температуры и давления, при расчетах спектрального пропускания на наклонных трассах следует учитывать зависимость этих параметров от высоты. В компиляции нет достаточно полных данных о зависимости интенсивности линий и их полуширины от температуры и давления, поэтому учет этих зависимостей осуществляется на основе дополнительных соображений и предположений.

Уместно заметить, что диагностика газовых сред оптическими методами сводится, как правило, к многократно решаемой задаче расчета интегрального поглощения излучения в изолированной спектральной линии. В поисках эффективных методов решения этой задачи был разработан физико-математический подход к описанию поглощения излучения в изолированной линии оптически неоднородными газовыми средами, когда параметры задачи меняются на пути распространения излучения. Под эффективностью в данном случае понимается не только возможность реализации предложенного подхода на ЭВМ с приемлемой сложностью и быстродействием алгоритмов, но и возможность качественного анализа получаемых результатов. Ниже приведены лишь окончательные уравнения для расчета функции поглощения для таких сред (более подробно см. в [3]).

В предположении, что каждая изолированная спектральная линия имеет фойгтовский профиль, можно рассчитать функцию поглощения, которая помимо оптической толщины в центре линии зависит от эффективности лоренцевской и доплеровской ширины, интенсивности и профиля линии.

Показатель спектрального поглощения $\sigma(\nu)$, рассчитанный на одну молекулу и обусловленный влиянием всех линий, расположенных в выделенной спектральной области, определяется по формуле

$$\sigma_n = \sqrt{(\ln 2)/\pi} \sum_i^N \frac{S_i(z)}{\gamma_i^D(z)} H \left[\left| \frac{\nu_z - \nu_i^0}{\gamma_i^D(z)} \right| \sqrt{\ln 2}, \frac{\gamma_i^L(z)}{\gamma_i^D(z)} \sqrt{\ln 2} \right], \quad (1)$$

где $\gamma_i^D(z)$ и $\gamma_i^L(z)$ - доплеровская и лоренцевская полуширины линий соответствен-

но; $H(x,a) = (a/\pi) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-t^2) dt}{a^2 + (x-t)^2}$ - функция Фойгта; суммирование ведется по числу учитываемых линий.

Расчет значений S и $\gamma_i^D(z)$ и $\gamma_i^L(z)$ как функций высоты, производится по формулам:

$$S(z) \equiv S(T(z)) = S(T_0) \left[\frac{T_0}{T(z)} \right]^n \exp \left[- \frac{hc_E}{k_B} \frac{T_0 - T(z)}{T_0 T(z)} \right], \quad (2)$$

где $T_0 = 296$ К - стандартная температура; $n \approx 1.5$ - коэффициент температурной зависимости интенсивности; $h = 6,626196$ эрг·с - постоянная Планка; $c = 2,997925 \cdot 10^{10}$ см/с - скорость света; $k_B = 1,380662 \cdot 10^{-16}$ эрг/К - постоянная Больцмана;

$$\gamma^L(z) = \gamma_0^L p(z) [T_0 / T(z)]^m, \quad (3)$$

где $p(z)$ - давление в атмосферах на высоте z ; m - коэффициент температурной зависимости полуширины;

$$\gamma^D(z) = (v_0/c) \sqrt{2(\ln 2)} k_B T(z) N_A / M, \quad (4)$$

где $N_A = 6,0220454 \cdot 10^{23}$ молекул/моль - число Авогадро; M - г/моль - молекулярная масса вещества.

Показатель общего спектрального поглощения рассчитывается по формуле

$$\alpha_n = \sum_j \sigma_j(v_j) N_j, \quad (5)$$

где N_j - концентрация молекул j -го газа в см⁻³.

Таким образом, спектральную прозрачность T_v на трассе длиной L и зенитным углом φ можно рассчитать по формуле

$$T_v = \exp \left\{ (1/\cos \varphi) \sum_{z_n}^{z_b} [\alpha_n + \alpha_e(z)] dz \right\}, \quad (6)$$

где z_n и z_b - высота в начале и в конце трассы; $\alpha_e(z)$ - коэффициент экстинкции атмосферного аэрозоля.

При задании высотных профилей температуры, давления, коэффициентов аэрозольного ослабления, а также концентраций поглощающих газов возникает целый ряд проблем, которые при расчетах функции поглощения на горизонтальных трассах в ряде случаев можно было оставить без внимания. Одна из этих проблем - слабая изученность метеорологических полей в средней атмосфере, начиная примерно с уровня 30 км и выше. Поэтому степень сложности и неопределенности при задании профилей в существенной мере зависит от выбора положения трассы. Если трасса целиком расположена в тропосфере, то профиль таких метеопараметров как давление, температура, влажность, могут рассчитываться в соответствии с хорошо известными и проверенными формулами. Так, например, вертикальный ход атмосферного давления в нижней атмосфере может быть рассчитан по барометрической формуле

$$p = p_0 \exp[-Mgz/(RT)], \quad (7)$$

где $g = 980,665$ см·с⁻² - ускорение свободного падения; $R = 8,31432 \cdot 10^7$ эрг/К·моль - газовая постоянная.

При использовании этой формулы для задания профиля в высоких слоях ат-

мосферы могут возникнуть существенные ошибки, поэтому для таких трасс профили давления надежней задавать по данным инструментальных наблюдений.

Профили температуры имеют по сравнению с давлением большую пространственно-временную изменчивость. С другой стороны, этот параметр хорошо изучен и постоянно измеряется. Например, известно, что в тропосфере (по крайней мере - выше пограничного слоя) вертикальный профиль температуры достаточно хорошо определяется двумя параметрами - приземной температурой и вертикальным градиентом, причем эти параметры измеряются на всех метеостанциях. Выше тропопаузы - вертикальный ход температуры качественно отличается от тропосферного. В частности, температура растет с высотой в стратосфере, убывает в мезосфере и т.д. Поскольку в этих областях для расчета температурных профилей требуется знание целого ряда труднодоступных для измерения параметров, здесь, на наш взгляд, целесообразно использовать соответствующие сезону и географическому положению модели распределения температуры.

Таким образом, изменения температуры с высотой могут рассчитываться по вводимому вертикальному градиенту γ :

$$T(z) = T_0(z) - \gamma z, \quad (8)$$

или задаваться прямым образом.

Наиболее серьезные трудности появляются при задании вертикального распределения концентрации молекул поглощающих газов. Для ситуаций, когда наклонная трасса расположена вдали от источников и стоков зондируемых газов, а сами газы химически неактивны (т.е. являются пассивной примесью), можно считать, что вертикальный профиль их концентрации за ходом плотности воздуха, и для расчета вертикального хода концентрации в нижней атмосфере можно пользоваться барометрической формулой (7). При этом следует иметь в виду, что вследствие интенсивного турбулентного перемешивания атмосферы дальтоновское разделение газов в нижней и средней атмосфере не происходит и относительная концентрация малых газовых составляющих остается приблизительно постоянной (как показывают многочисленные исследования) до высот примерно 80-100 км. Поэтому при использовании формулы (7) в показателе экспоненты следует оставлять молекулярный вес для воздуха, а концентрацию примеси получать путем умножения на соответствующий коэффициент.

В случае, когда поглощающие газы являются химически активными в атмосфере, высотный профиль концентрации зависит от конкретной географической, экологической и метеорологической ситуации и может существенно варьироваться. Поэтому для задания этих профилей требуется применять статистические модели, основанные на данных инструментальных измерений. Вопрос этот практически не изучен, в литературе имеются лишь отдельные несистематизированные данные по содержанию поглощающих газов. В особенности это относится к высоким слоям атмосферы. Тем не менее, по доступным литературным данным нами подготовлен пакет файлов, содержащих вертикальные профили малых газовых составляющих и загрязняющих газов для различных регионов земного шара. Кроме того, имеются среднестатистические вертикальные профили [4] некоторых поглощающих газов для полярной, умеренной и тропической зон.

Большое влияние на точность расчетов может оказывать вертикальный профиль аэрозольного ослабления [5]. В отличие от метеопараметров, коэффициенты экстинкции атмосферного аэрозоля имеют в тропосфере **большую** пространственно - временную изменчивость, чем в верхних слоях атмосферы. В качестве высотных профилей аэрозоля в тропосфере можно использовать модели высотного хода аэрозольной экстинкции, имеющиеся, например, в [6], для фонового, среднецик-

лического (между крупными вулканическими извержениями), морского, городского, вулканического аэрозоля. Для стратосферы более целесообразно использовать непосредственные данные зондирования аэрозоля (полученные и накопленные, например, Институтом экспериментальной метеорологии в г. Обнинске, за несколько последних лет).

Вертикальный профиль влажности существенно зависит от температуры и других метеорологических факторов и должен, вообще говоря, задаваться индивидуально для каждой ситуации. В условиях тропосферы в качестве оценочной может быть применена одна из эмпирических формул для вертикального хода влажности, например, формула Хргиана [7]

$$q = q_0 \cdot 10^{-bz - cz^2}, \tag{9}$$

где z - высота в километрах; q_0 - удельная влажность у земли, которая может быть рассчитана, например, при помощи формулы

$$q = 10^{7,6326(T-273)/(T-31,1)} \cdot 1,05/T, \tag{10}$$

а значения постоянных b и c для умеренных широт приведены в табл.1.

Таблица 1

Сезонные изменения параметров b и c формулы (9)

Время года	b	c
Зима	0,0483	0,0158
Весна	0,0941	0,0163
Лето	0,0947	0,0138
Осень	0,0905	0,0124

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ

Сформулированные выше алгоритмы расчета спектров поглощения атмосферы на наклонных трассах совместно с компиляцией «Хитран-91» и описанными выше параметризациями реализованы в виде базы данных на ПЭВМ IBM PC. В базе данных имеется возможность расчета коэффициентов поглощения $\sigma(\nu)$ и спектральной прозрачности $T(\nu)$ для любого спектрального интервала. Крылья спектральных линий, находящихся за пределами этого интервала, учитываются путем задания поискового интервала спектральных линий выбранных газов. Это означает, что крылья всех спектральных линий, находящихся за пределами выбранного диапазона длин волн, но в пределах интервала, заданного процедурой поиска линий, будут учтены при расчете.

Работоспособность базы данных может быть проиллюстрирована на

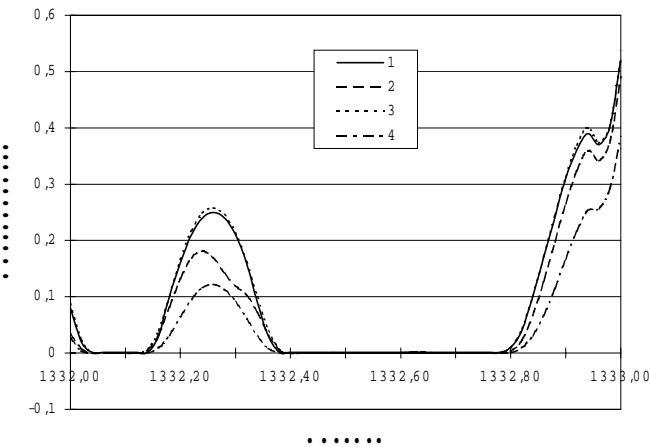


Рис.1. Результаты расчетов прозрачности для заданного профиля метана на трассе с начальной высотой 5 км, конечной высотой 30 км и зенитным углом 30°

примере простых демонстрационных расчетов спектров некоторых поглощающих газов. В качестве примера рассчитаем спектр поглощения метана в диапазоне $1332 - 1333 \text{ см}^{-1}$. Допустим, что высотный профиль концентрации метана соответствует данным наблюдений [8], приведенным в табл.2. Поскольку данный профиль содержит концентрации для слоя выше 5 км, будем рассчитывать спектры для наклонных трасс, лежащих между 5 и 30 км. На рис.1 приведены результаты расчетов прозрачности для указанного профиля метана на трассе с начальной высотой 5 км, конечной высотой 30 км и зенитным углом 30° . Первая линия относится к газовому составу, содержащему из поглощающих газов только метан. Вторая линия соответствует ситуации, когда в атмосфере присутствует водяной пар в концентрациях, равных среднеклиматическим для соответствующих значений температуры воздуха. Как и следует ожидать, наличие водяного пара на трассе уменьшает прозрачность, в особенности в тех участках, где не слишком велико поглощение метаном.

Третья кривая на рис.1 построена для тех же условий, что и первая, за исключением того, что в данном случае отсутствует ослабление атмосферным аэрозолем (коэффициенты экстинкции приравнены к нулю). Нетрудно видеть, что эти кривые практически сливаются, что вполне понятно, т.к. в данной области спектра поглощение метаном весьма значительно и превалирует над аэрозольным ослаблением.

Таблица 2

Высотный профиль концентрации метана

Высота, км	Концентрация
35.3	0.48E-6
34.05	0.55E-6
32.65	0.63E-6
31.25	0.68E-6
30.0	0.77E-6
28.0	0.73E-6
25.25	0.91E-6
23.3	0.98E-6
12.31	1.53E-6
12.30	1.57E-6
11.85	1.57E-6
11.23	1.67E-6
9.87	1.63E-6
9.02	1.65E-6
5.17	1.63E-6

Четвертая кривая на этом рисунке иллюстрирует температурную зависимость спектральной прозрачности. Параметры в данном эксперименте отличаются от исходных (первая кривая) заданием вертикального профиля температуры и соответствующей корректировкой профилей давления и плотности воздуха. В данном случае приземная температура принята 253K (что соответствует зимним условиям) при сохранении вертикального градиента температуры до примерного уровня зимнего положения тропопаузы, т.е. около 10 км. Из сопоставления кри-

вых следует прийти к достаточно нетривиальному выводу об уменьшении прозрачности загрязненной атмосферы при уменьшении температуры. Связано это с температурной зависимостью как самого фойгтовского контура, так и с увеличением плотности воздуха при падении температуры (заметим, что в наших расчетах абсолютные концентрации метана непосредственно следуют за плотностью воздуха).

Установив работоспособность алгоритмов расчета пропускания атмосферы, выясним возможности определения концентраций

загрязняющих примесей в реальной атмосфере реальными лазерами на примере таких газов, как SO_2 и NH_3 . Наиболее простыми, доступными и надежными являются CO_2 -лазеры, поэтому попытаемся определить пригодность таких лазеров для исследуемых задач. Немаловажным является то, что CO_2 -лазеры могут настраиваться на большое количество достаточно близких по частоте волн излучения в ИК-диапазоне (в районе 9 - 11 мкм), которое может быть еще увеличено при использовании в рабочей среде лазера различных изотопов углерода или кислорода.

По данным атласа «Хитран-91» сернистый ангидрид имеет полосу поглощения в области волн излучения CO_2 -лазера. В связи с тем, что в реальной атмосфере содержится достаточно значительное количество углекислого газа, последний существенно ослабляет зондирующее излучение, и полезный сигнал на фоне атмосферного шума будет выделить трудно. Расчеты показывают, что даже при концентрациях сернистого газа 1000 млн^{-1} на стандартных частотах излучения CO_2 -лазера поглощение «фоновой» атмосферы на несколько порядков превышает поглощение SO_2 . Поэтому для определения концентрации SO_2 в атмосфере выберем зондирующие волны изотопного CO_2 -лазера $^{18}\text{C}^{12}\text{O}^{18}$, в частности, линии R(20) - $1097,15 \text{ см}^{-1}$ и линии R(22) - $1098,32 \text{ см}^{-1}$, частоты которых попадают на крылья линий атмосферного углекислого газа. На рис.2 приведены результаты расчета спектров поглощения фоновой атмосферы со стандартными концентрациями основных газовых составляющих, соответствующими 20°C и давлению 1013 мбар, и SO_2 в относительной концентрации 10^{-7} . При расчете принимались следующие концентрации атмосферных газов: водяной пар - 0,0045; углекислый газ - 0,00035; озон - 10^{-8} ; кислород - 0,21; азот - 0,78.

Заметим, что для анализа применимости конкретной пары длин волн для зондирования примеси ДПР на фоне реальной атмосферы вполне достаточно рассчитать коэффициенты поглощения газов для нормальных атмосферных условий. Естественно, для вычисления ослабления на трассе следует применять полный расчет по формулам (1)-(6).

Как видно на рис. 2, коэффициенты поглощения для фоновой и загрязненной атмосферы отличаются примерно вдвое на частоте $1097,15 \text{ см}^{-1}$ и более чем в 4 раза на частоте $1098,32 \text{ см}^{-1}$. Из этого следует, что для обнаружения сернистого

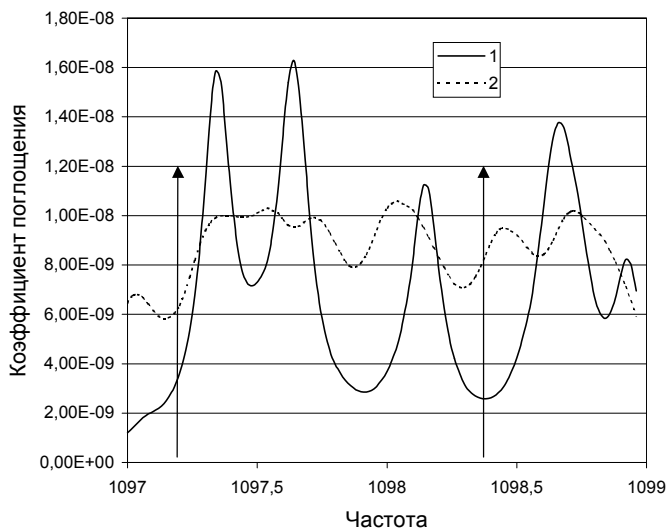


Рис. 2. Спектральный ход коэффициентов поглощения фоновой атмосферы и сернистого газа в области излучения волн и $^{18}\text{C}^{12}\text{O}^{18}$ -лазера (вертикальные стрелки - линии излучения зондирующего лазера)

газа в атмосфере такой подбор длин волн зондирующего излучения можно признать удачным, т.к. на одной из длин волн полезный сигнал может быть успешно выделен на фоне «шума» чистой атмосферы. Естественно, при изменении концентраций стандартных атмосферных газов спектры поглощения будут иметь количественные отличия, но для достаточно значительных концентраций различия на второй длине волны будут хорошо заметны.

На рис. 3 показаны результаты расчета спектрального хода коэффициента поглощения аммиака с концентрацией 10 млрд^{-1} в области его наиболее сильной (в районе 10 мкм) полосы поглощения. Как и в случае для сернистого газа, на волнах излучения обычного CO_2 -лазера сигнал аммиака плохо выделяется на фоне поглощения атмосферных газов. В случае же применения $\text{O}^{18}\text{C}^{12}\text{O}^{18}$ -лазера на волнах $\text{P}(42) - 932,06 \text{ см}^{-1}$ и $\text{P}(40) - 933,98 \text{ см}^{-1}$ принципиальная возможность детектирования аммиака очевидна. Следует заметить, что подбор данной пары волн является тем более удачным, что первая длина волны попадает на одну из резонансных линий аммиака, а другая - на крыло, причем коэффициенты поглощения отличаются на порядок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможности лазерного зондирования поглощающих газов в реальной атмосфере методом ДПР в среднем ИК-диапазоне могут быть существенно расширены при использовании CO_2 -лазеров на изотопах. Связано это с тем, что излучение «обычного» CO_2 -лазера заметно ослабляется содержащимся в атмосфере углекислым газом и другими примесями, в результате чего поглощение на зондируемой примеси не может быть выделено на фоне «шума» реальной атмосферы. Применение лазеров на изотопах позволяет сместить зондирующие волны на крылья резонансных линий стандартных атмосферных газов.

Главный же вывод заключается в том, что предложенный в данной работе подход позволяет промоделировать возможности реального приборного определения поглощающих примесей в атмосфере методом дифференциального поглощения.

Список литературы

1. Троянов М.М. Исследование возможностей лазерного зондирования загрязняющих примесей в реальной атмосфере: Сб. трудов ИЭМ. - 1995. - Вып. 25(160).
2. Rothman L.S. et al. The HITRAN Atmospheric Molecular Spectroscopic Database. - 1992.
3. Ишов А.Г., Клинова О.В. Функция поглощения для изолированной спектральной линии с фойгтовским контуром в оптически неоднородной газовой среде: Сб. трудов ИЭМ. - 1991. - Вып. 24(150).
4. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.

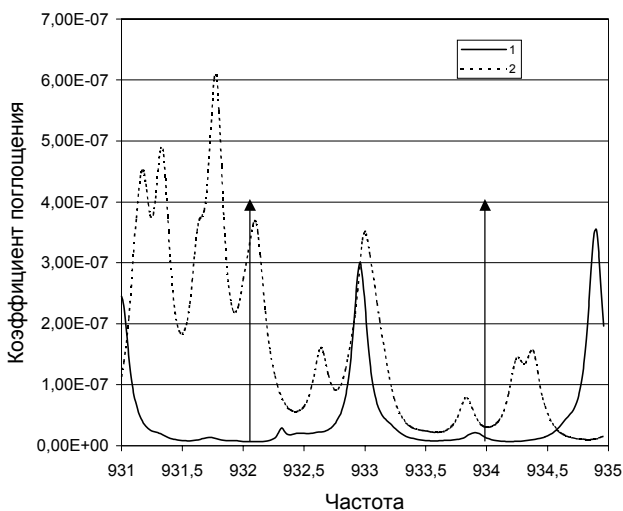


Рис. 3. Спектральный ход коэффициентов поглощения фоновой атмосферы (1) и аммиака (2) в области излучения волн $\text{P}(42)$ и $\text{P}(40)$ (стрелки) $\text{O}^{18}\text{C}^{12}\text{O}^{18}$ -лазера (вертикальные стрелки - линии излучения зондирующего лазера)

5. *Троянов М.М., Хмелевцов А.С., Хмелевцов С.С.* Влияние стратосферного аэрозоля на ошибки лидарного измерения атмосферного озона/V совещание по атмосферной оптике. - Томск, 1991.
6. *Зуев В.Е., Креков Г.М.* Оптические модели атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.
7. *Хргиан А.Х.* Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.
8. The vertical distribution of stable gases at mid-latitudes/P. Fabian, R. Borchers, G. Flentje, W. A. Matthews. - J. Geophys. Res. - 1986. - NC6.
9. *Витteman В.* CO₂ - лазер. - М.: Мир, 1990.

Поступила в редакцию 8.06.99.

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.311.25:621.039.004(55)

Scenarios of Development of Nuclear Power Engineering on BB3P-1000 and BREST-type Fast Reactors in Iran \N. Mataji Kajuri; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 2 tables, 8 illustrations. - References, 5 titles.

The different scenarios of development of Iranian nuclear power engineering are considered. A possibility of BREST-type lead-cooled fast reactors introduction in the Iranian nuclear industry is analyzed.

УДК 621.311.25:621.039

Management of Technical and Industrial Hazards on Objects of Nuclear Power Engineering Using the Automated System of Recording and Documenting of Signals \V.V. Titov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 2 illustrations.

The opportunities of application of the multifunctional automated systems of recording of signals on high-hazard industrial objects, including nuclear power engineering are uncovered in the paper.

УДК 523.683:523.64

Chaotic Dynamics in a Problem of N-bodies \N.V. Kulikova, A.V. Mishev, P.I. Ignatenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 9 illustrations. - References, 11 titles.

The technique of realization of computer modeling and research method of the evolution of objects in the N-bodies problem (formalization of the model, construction of the solution, processing and analysis of results) is considered. Using examples of the decision of spatial gravitational problems for 4 and 6 bodies it was shown that the developed approaches and methods are unique for the research of the evolution of N-bodies dynamic system interaction is caused by fields of a various nature.

УДК 504.3.054:681.7.069.24

The Possibilities of Sondage of Contaminants in the Real Atmosphere Using Industrial Lasers \M.M. Troyanov, Yu.D. Il'ichev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 2 tables, 3 illustrations. - References, 9 titles.

The possibilities of instrumental determination of adsorbing admixtures in a real atmosphere by the method of differential absorption using isotope CO₂-lasers are investigated.

УДК 51-73:504.054

Prediction of Contaminations of Surface Stratum of Territory in Region NPP \K.M. Efimov, E.A. Yas'ko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 4 titles.

Development of mathematical models of pollution spreading due to natural processes in the soil is hampered by the complexity of representing the soil as a medium of migration owing to heterogeneity of its physicochemical properties and insufficient knowledge of transfer mechanisms. This study offers rather a simple mathematical model of both the formation of rainfall run-off at a catchment area, and the process of transfer of polluting substances by the generated flow. The constructed model is convenient for practical application. Numerical calculations for the Covashy river basin (vicinity of the Leningrad Nuclear Power Plant) have been carried out.

УДК 551.510.42

Removing of Aerosol Fraction from the Troposphere by Atmospheric Precipitation \M.M. Troyanov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages. - References, 9 titles.

The problem of removal of an aerosol from the atmosphere by clouds is considered. Two different mechanisms of an aerosol removing - at the expense of aerosol moisturing inside clouds and due to