

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВЫХЛОПАХ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Трунов В.А., студент; Хламов М.Г., проф., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых серьезных экологических проблем многих промышленных городов. Влияние загрязнения воздуха на здоровье человека проявляется через сокращение средней продолжительности жизни, увеличение количества преждевременных смертей, рост заболеваемости и негативное влияние на развитие детей. За последние 17 лет динамика валовых выбросов вредных веществ в атмосферу представлена на рисунке 1.

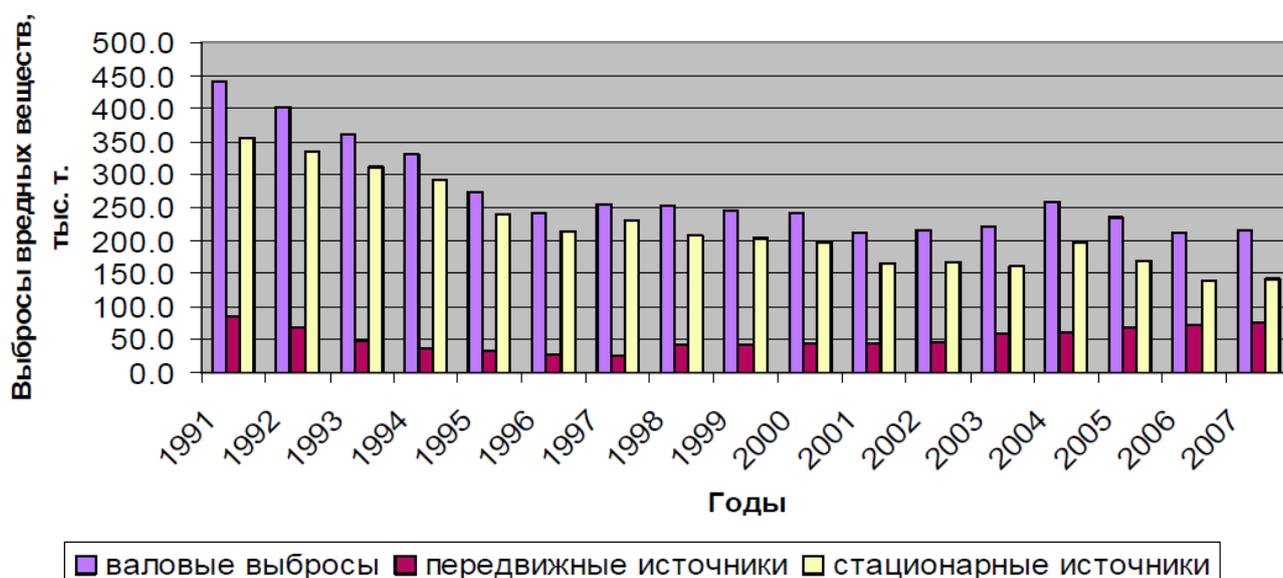


Рисунок 1 – Валовые выбросы вредных веществ в Донецке

Анализ приведенных данных показывает, что за последние 10 лет общие валовые выбросы вредных веществ уменьшились на 15 %. При этом выбросы от промышленных предприятий снизились на 32 %, а выбросы транспорта возросли на 76 %. В случае сохранения существующих тенденций, количество выбросов вредных веществ от передвижных источников к 2020 году превысит соответствующее количество выбросов от стационарных источников. В этом случае валовое количество выбросов по городу возрастет на 30 – 40 % и может составить от 280 до 300 тыс. тонн в год. Анализ состава выбросов в атмосферу свидетельствует, что в 2007 году по сравнению с 2000 годом снизились выбросы оксида углерода (на 12 %), диоксида серы (на 44 %) и пыли (на 37 %), однако при этом возросли выбросы соединений азота (на 48 %). Наибольшую опасность для атмосферного воздуха представляют выбросы автомобильного транспорта, так как прослеживается тенденция роста доли вредных выбросов, производимых автомобильным транспортом [1].

Выхлопные газы (или отработавшие газы) — это неоднородная смесь различных газообразных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящая из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей (как газообразных, так и в виде жидких и твердых частиц), поступающих из цилиндров двигателей в его выпускную систему. В своем составе они содержат около 300 веществ, большинство из которых токсичны.

Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются оксиды углерода, азота и углеводороды. Кроме того, с выхлопными газами в атмосферу поступают предельные и непредельные углеводороды, альдегиды, канцерогенные вещества, сажа и другие компоненты. В таблице 1 представлен примерный состав выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания.

Таблица 1 – Состав выхлопных газов

Компоненты выхлопного газа	Содержание по объему, %		Примечание
	Двигатели		
	Бензиновые	Дизели	
Азот (N ₂)	74,0-77,0	76,0-78,0	Нетоксичен
Кислород (O ₂)	0,3-8,0	2,0-18,0	Нетоксичен
Пары воды (H ₂ O)	3,0-5,5	0,5-4,0	Нетоксичен
Диоксид углерода (CO ₂)	0,0-16,0	1,0-10,0	Нетоксичен
Оксид углерода (CO)	0,1-5,0	0,01-0,5	Токсичен
Оксиды азота (NO _x)	0,0-0,8	0,0002-0,5000	Токсичны
Альдегиды	0,0-0,2	0,001-0,009	Токсичны
Оксид серы	0,0-0,002	0,0-0,03	Токсичен
Углеводороды	0,2-3,0	0,09-0,500	Токсичны
Сажа, г/м ³	0,0-0,04	0,01-1,10	Токсична и канцероген
Бензопропилен, мг/м ³	0,01-0,02	до 0,01	Канцероген

Углеводороды, выбрасываемые автомобильными двигателями, под действием солнечного света вступают в реакцию с оксидами азота, выбрасываемые двигателями, котельными установками и промышленными печами. В результате протекают фотохимические реакции с образованием озона, радикалов и различных перекисей, вызывающих раздражение глаз, повреждение растительности, разрушение резины.

Углеводороды C_xH_y – это многочисленная группа соединений, представляющих следующие гомологические ряды: парафины, олефины, нафтены, ароматические углеводороды (в том числе – полициклические ароматические углеводороды – ПАУ). Наиболее значимыми из них являются легкие газообразные углеводороды (метан CH₄, этан C₂H₆, пропан C₃H₈, этилен C₂H₄, ацетилен C₂H₂ и ряд других) и ПАУ [2].

Помимо экологического контроля, измерение углеводородов в выхлопах автомобильного транспорта позволяет судить о неисправностях ДВС и их причинах, устранение которых повышает экологичность автомобиля. Измерение углеводородов существенно расширяет анализ процесса сгорания. Оно делает возможным, например, показания о качестве сгорания. Измерение концентрации C_xH_y уже широко применяется для регулировки смеси холостого хода, а также для оценки состояния двигателя.

14 августа 2011 года вступил в силу Закон Украины "О внесении изменений в некоторые законодательные акты Украины относительно устранения чрезмерного государственного регулирования в сфере автомобильных перевозок" № 3565-17 от 05.07.2011г., согласно которому отменена процедура обязательного государственного технического осмотра для определенных категорий транспортных средств.

1 июля МВД заключило соглашение на закупку микроавтобусов, в том числе мобильных станций для диагностики состояния автомобилей. Согласно тендерной документации, закупленные автомобили должны иметь следующее оборудование:

- измеритель эффективности тормозных систем автомобилей типа «ЭФФЕКТ» или эквивалент;
- измеритель параметров света фар автотранспортных средств типа «ИПФ-01» или эквивалент;

- измеритель дымности отработанных газов двигателей транспортных средств, работающих на дизельном топливе типа «МЕТА-01МП» или эквивалент;
- газоанализатор концентрации оксида углерода, двуокси углерода, углеводородов, кислорода для одновременного определения содержания указанных газов в отработанных газах двигателей транспортных средств, работающих на бензине или газовом топливе типа «Автотест» или эквивалент;
- прибор для определения светопропускания стекол транспортных средств типа «Люкс ИС-2» или эквивалент;
- измеритель суммарного люфта рулевого управления транспортных средств типа «ИСЛ-М» или эквивалент.

С использованием средств измерительной техники проверяются: тормозная система и её составляющие, содержание СН/дымность выпускных газов дизельного двигателя, содержание СО в топливе, рулевое управление и его составляющие, внешние осветительные приборы и сигнальные устройства. Инспекторы ГАИ могут останавливать автомобили по визуальному определению неисправностей. Днём это дым из выхлопной трубы, прогоревший глушитель, неправильный развал колес, а ночью - корректировку фар.

С юридической точки зрения сама процедура прохождения технического контроля на дороге весьма неоднозначна, ведь даже в том случае, когда передвижная диагностическая станция, которые закупит МВД, будет находиться на дороге, нет механизма, по которому водителя могут принудительно заставить пройти техосмотр. Согласно действующему законодательству, техосмотр нельзя проводить на дороге - для этого должна быть сертифицированная техническая станция. Вместе с тем, никто не имеет права эвакуировать автомобиль с дороги - это ограничение конституционного права на свободу передвижения. Никто не имеет права заставить вас выйти из машины, тем более двигаться куда-то.

Среди методов определения концентрации углеводородов в выхлопах автомобильного транспорта можно выделить метод пламенной ионизации, оптика-абсорбционный метод и оптико-акустический метод.

Оптико-акустический метод относится к большому классу спектрально-оптических методов, применяющихся для количественного анализа газов и жидкостей. Количественный анализ газов на основе этих методов основывается на использовании явления поглощения света, описываемого законом Бугера-Ламберта-Бера. Определяют мощность монохроматического излучения с заданной частотой, проходящее через однородную среду, содержащую поглощающий компонент. Регистрируя мощность излучения, получают выходной сигнал, связанный с концентрацией измеряемого компонента.

Оптико-абсорбционный метод основан на измерении поглощения оптического излучения молекулами анализируемого вещества в какой-либо спектральной области. Поглощение излучения происходит при совпадении спектральных линий излучения и линии поглощения анализируемого вещества. Количество поглощенной энергии определяется количеством молекул, а избирательность обеспечивается строгой индивидуальностью спектров поглощения.

Пламенно-ионизационный метод основан на ионизации углеводородов в водородном пламени. В чистом водородном пламени содержание ионов незначительно. При введении углеводородов в пламя количество образующихся ионов значительно увеличивается. Если приложить электрическое поле между коллектором и горелкой, возникает ток, значение которого прямо пропорционально концентрации углеводородов, введенных в пламя. Ток измеряют электрометрическим усилителем, к выходу которого обычно подключен самописец.

За основу разрабатываемого измерительного канала концентрации суммы углеводородов взят оптико-абсорбционный метод измерения, как наиболее селективный и чувствительный. В качестве основных контролируемых компонентов суммы углеводородов взяты этан C_2H_6 , метан CH_4 , этилен C_2H_4 , бензол C_6H_6 , пропан C_3H_8 , ацетилен C_2H_2 . В

программе моделирования спектральных характеристик химических соединений Spectra hitran была получена модель спектральной характеристики метан, приведенная на рисунке 2.

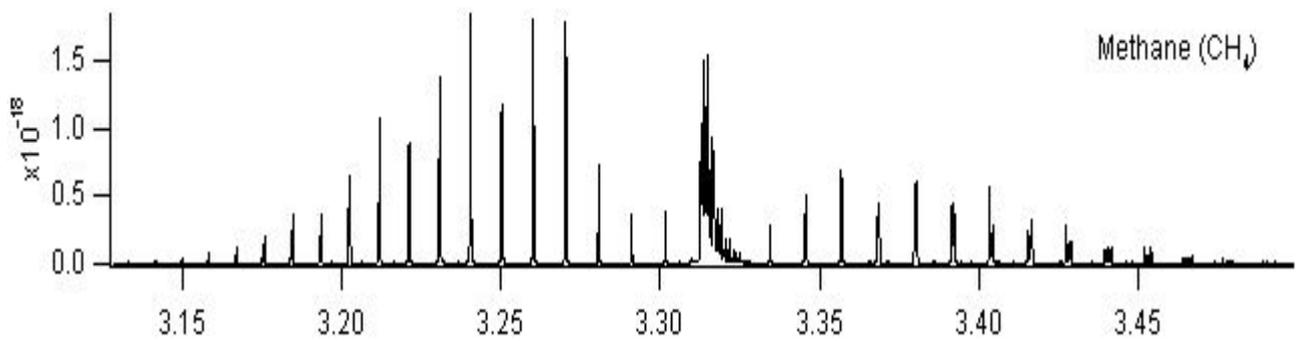


Рисунок 2 – Спектральная характеристика метана

Концентрацию метана определяют по поглощению излучения в ИК-области спектра при длине волн $\lambda=3,3-3,9$ мкм [3]. Средствами Microsoft Visio данная характеристика была проградуирована, были получены основные параметры спектральной характеристики на примере метана, такие как границы спектральной полосы пропускания и длины волны, соответствующая максимуму характеристики. В пакете Mathcad методами математического моделирования был получен график огибающей спектра поглощения метана, который показан на рисунке 3.

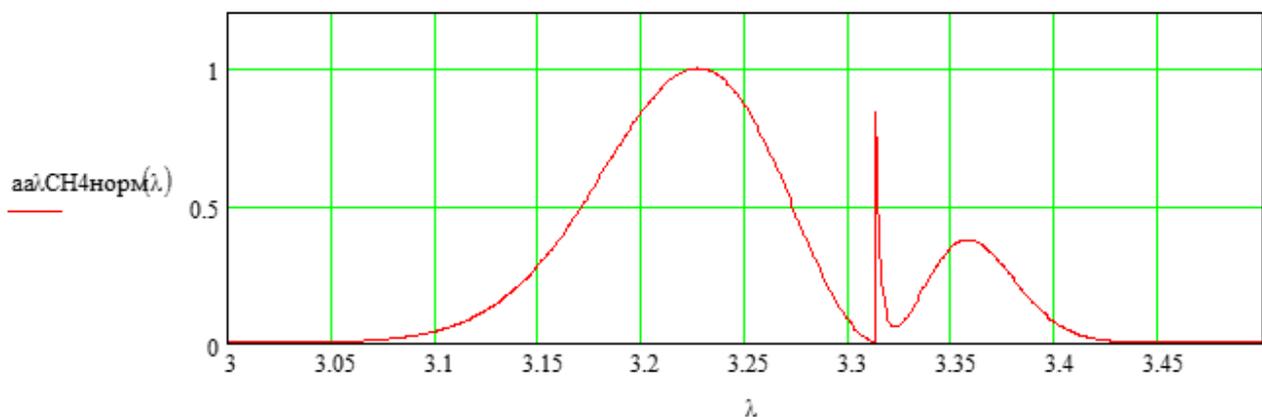


Рисунок 3 – График огибающей спектра поглощения метана

При дальнейшем моделировании данные спектра поглощения метана были осреднены и получена интегральная характеристика спектра поглощения метана с учетом плотности линий. График данной характеристики представлен на рисунке 4.

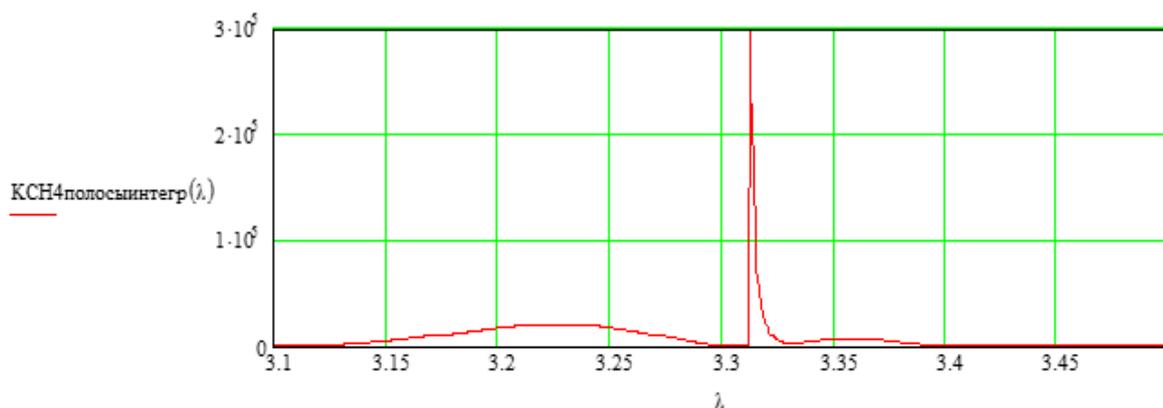


Рисунок 4 – Интегральная характеристика спектра поглощения метана

Согласно графику, изображенному на рисунке 4, мы видим, что пик поглощения метаном ИК-излучения приходится в диапазоне от 3,3 до 3,35 мкм. Однако для удобства дальнейшего моделирования оптического канала необходимо использовать график зависимости коэффициента пропускания метана от длины волны. Он представлен на рисунке 5.

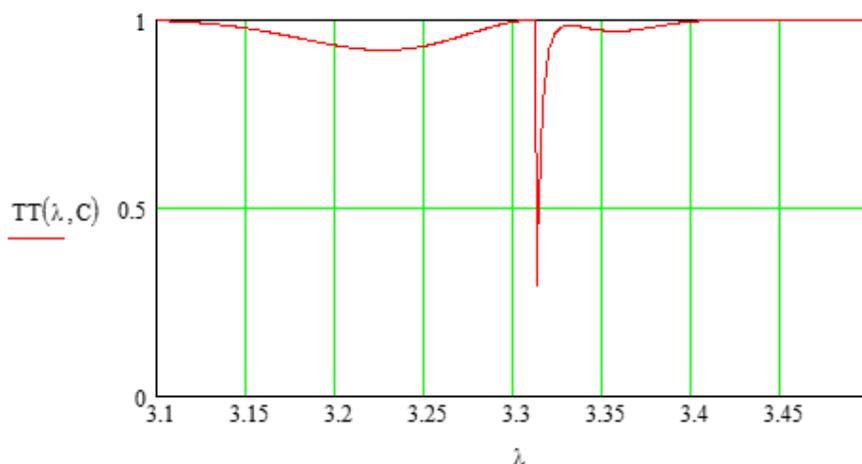


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента пропускания метана от длины волны излучения

На рисунке 6 красной линией показан спектр входного сигнала, а пунктирной синей линией – спектр выходного сигнала оптического канала с учетом потерь излучения в оптическом канале. По разнице входного и выходного сигнала в будущем можно будет судить о концентрации метана.

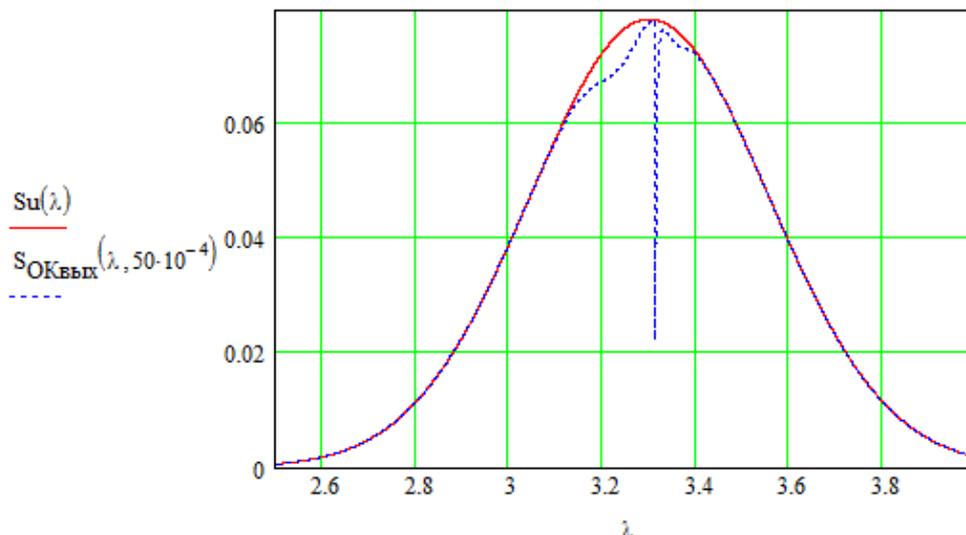


Рисунок 6 – Спектр входного и выходного сигнала оптического канала

В дальнейшем будет проведено математическое моделирование формирования измерительного сигнала концентрации всех компонентов суммы углеводородов в выхлопах автомобильного транспорта, будет получена интегральная характеристика спектра поглощения суммы углеводородов, а также определена погрешность, вносимая в результат измерения вариацией концентрации каждого компонента в суммарной смеси.

Перечень ссылок

1. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива/ И.Я.Сигал -Ленинград «Недра» Ленинградское отделение 1985 г.
2. Предельно допустимые концентрации веществ в воздухе и воде/Г.П.Беспамятнов – Издательство «Химия» Ленинградское отделение 1975г.
3. Спектральный анализ неорганических газов/В.М.Немец – Химия,1988г.