

Солодов Валерий Григорьевич, д.т.н., профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, solodov@khadi.kharkov.ua,
Авершин Андрей Геннадьевич, к.т.н., ст. преподаватель, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
avershin.andrey@gmail.com

ПЕРЕНОС ПРИМЕСИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В УСЛОВИЯХ БОКОВОЙ ВЕТРОВОЙ ЭПЮРЫ.

Работа посвящена моделированию распространения атмосферных загрязнений в приземном слое автомобильной дороги общего назначения.

Анализ публикаций. В мировой практике существуют два направления исследования данной проблемы: построение на основе многолетних наблюдений корреляционных зависимостей, учитывающих основные факторы влияния [1], и численное моделирование различных сценариев с целью выявления скрытых зависимостей, тенденций в дисперсии примесей в приземном слое, моделирования некоторых основных параметров состояния окружающей среды [2]. Оба направления являются содержательными и дополняют друг друга. Одно из преимуществ второго подхода следует из невозможности в отдельных случаях осуществления экспериментальных исследований, например, в случаях прогноза катастрофических событий, либо оценки проектируемых решений.

Постановка задачи. В данной работе на основе уравнений Навье-Стокса, уравнений переноса примеси, осредненных по Рейнольдсу, и моделей турбулентности [3] в приближении слабо сжимаемой среды развивается численная модель реального участка двухполосной автомобильной дороги и исследуется распространение в приземном слое атмосферы следа линейного источника примеси, вследствие стационарного выделения окиси углерода (СО) вдоль осевой линии автодороги. Для моделирования турбулентных эффектов переноса используется двухпараметрическая дифференциальная модель турбулентности $k-\varepsilon$ с пристенными функциями. Константы и подробное описание модели можно найти, например, в [3]. Влияние растительности учитывается с помощью источниковых членов в правых частях уравнений импульса в виде степенной зависимости $F_i = -C_0 |u|^{(C_1-1)} u_i$. В соответствии с экспериментальными данными [6] для плотной летней листвы константы модели выбраны $C_0=1$, $C_1=1$. Согласно рекомендациям [2] в уравнение переноса кинетической энергии турбулентности k внедрялся источниковый член типа $F_k = u_i F_i$, в уравнение переноса ε - источниковый член типа $F_\varepsilon = C_k \varepsilon / k F_k$. Данная модель интерпретирует влияние растительности как однородное изотропное сопротивление объема, добавочные члены в уравнениях модели турбулентности увеличивают производство турбулентности. Исследование проведено с использованием программного комплекса MTFSS® [4] методом установления от заторможенного состояния к

развитому установившемуся в среднем течении. Течение вне расчетной области предполагается полностью турбулентным. Входной профиль скорости ветра использовался с учетом погранслоя. Вдоль осевой линии автодороги предполагался линейный источник с выделением постоянного расхода примеси во времени и вдоль дороги на высоте около 0.5 метра с температурой, равной температуре набегающего потока. На основе анализа транспортного потока и зависимостей [1] задавался постоянный расход CO около $5e-6$ кг/сек на погонный метр осевой линии. Исследования проведены на криволинейных участках дороги с неизменным придорожным рельефом местности и насаждений (рис.1). Свойства воздуха и CO взяты из [5], приняты летние среднесуточные параметры атмосферы.

Обсуждение результатов. Интенсивность крупномасштабной завихренности до насаждений, между насаждениями и за насаждениями незначительна при их низкой плотности, что соответствует переносу примеси в нижнем слое насаждений [6]. При высокой плотности листвы основная часть ветрового потока огибает насаждения, за которыми возникает вихревое течение в противоположном направлении, аналогичное обтеканию уступа с противотоком. Обратные токи за насаждениями подсасывают примесь, которая поднимается с восходящими потоками воздуха и уносится над насаждениями (рис. 2, 3).

Обнаружено, что скос линий тока по отношению к осевой линии автодороги способствует сносу примеси вдоль автодороги. Характеризуется углом скоса между вектором скорости набегающего потока и направлением осевой линии автодороги. При направлении ветра в плоскости симметрии с выпуклой стороны примесь разносится от плоскости симметрии в стороны за счет острого угла скоса потока по отношению к осевой линии (рис. 2). При направлении ветра с вогнутой стороны примесь концентрируется в плоскости симметрии со сторон автодороги за счет тупого угла скоса потока. В этом заключается принципиальное различие в конвективном распространении примеси между трехмерной моделью и двумерной моделью в плоскости симметрии участка автодороги. Для разреженных насаждений эффект скоса мал, и линии тока практически не отклоняются от начального направления за исключением линий в тонком (около 1м) приземном слое, где динамический напор ветра мал. Для плотных насаждений эффект отклонения линий тока от начального направления является существенным, что проявляется в понижении концентрации примеси в случае ветра с выпуклой стороны изгиба автодороги, либо в повышении концентрации примеси при ветре с вогнутой стороны изгиба в сравнении с двумерной моделью.

Воздействие ветра с выпуклой стороны и с вогнутой стороны на конфигурацию участка №2 принципиально различны вследствие, несимметричности придорожного рельефа, отсутствия насаждений с вогнутой стороны участка автодороги, асимметрии скоса дороги по отношению к направлению ветра в плоскости симметрии. При воздействии ветра для участка №2 тенденции, отмеченные при обтекании участка №1, сохраняются. Именно,

при разреженных насаждениях концентрация примеси вблизи дорожного полотна заметно ниже, чем при густых насаждениях. При воздействии ветра с выпуклой стороны участка линии тока в трехмерной модели отклоняются от плоскости симметрии из-за скоса, улучшают вентиляцию изгиба дорожного полотна, и максимальные значения концентрации примеси достигаются вне плоскости симметрии. Структура течения при плотной листве напоминает структуру в городских уличных каньонах [2].

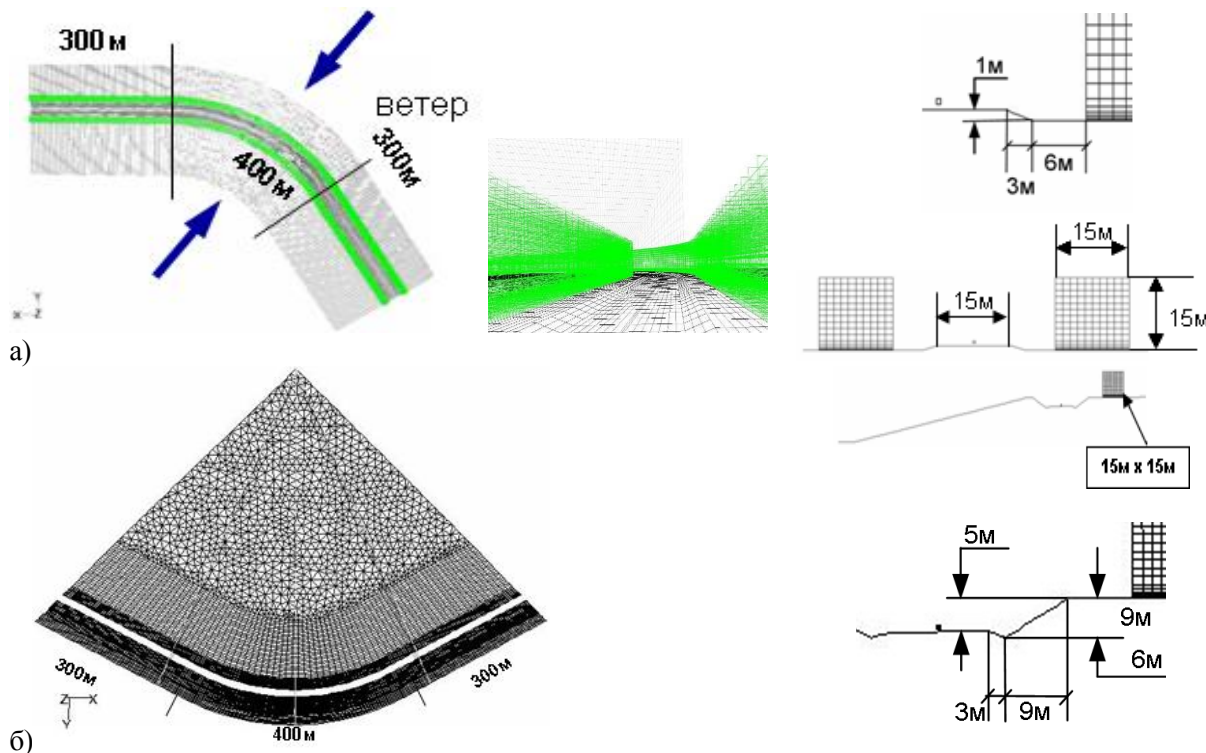


Рисунок 1 – Геометрия участков автодороги; а) участок №1, б) участок №2

Выводы. На изгибе дороги сопротивление пропорционально углу скоса, т.е. уменьшается при появлении скоса осевой линии. Двумерная модель непригодна для моделирования распространения примеси в плоскости симметрии участков типа 1,2.

Работа финансировалась МОН Украины.

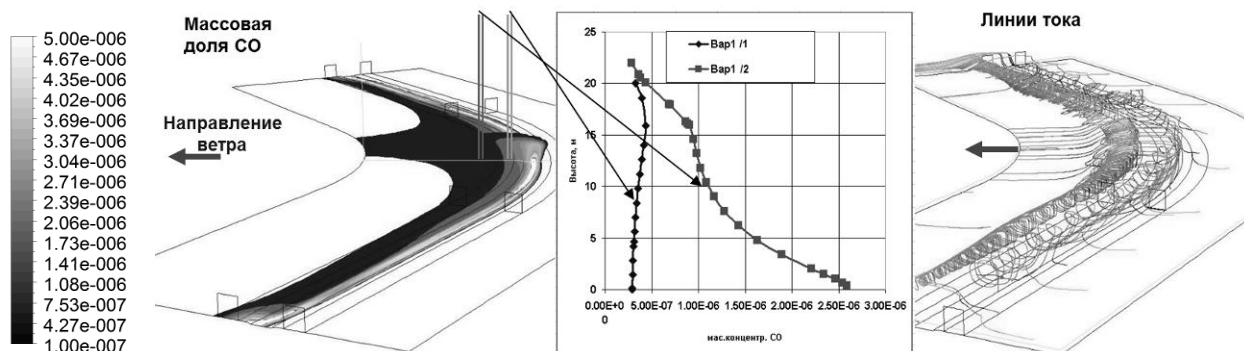


Рисунок 2 – Массовая доля CO на обочинах в плоскости симметрии на участке №1

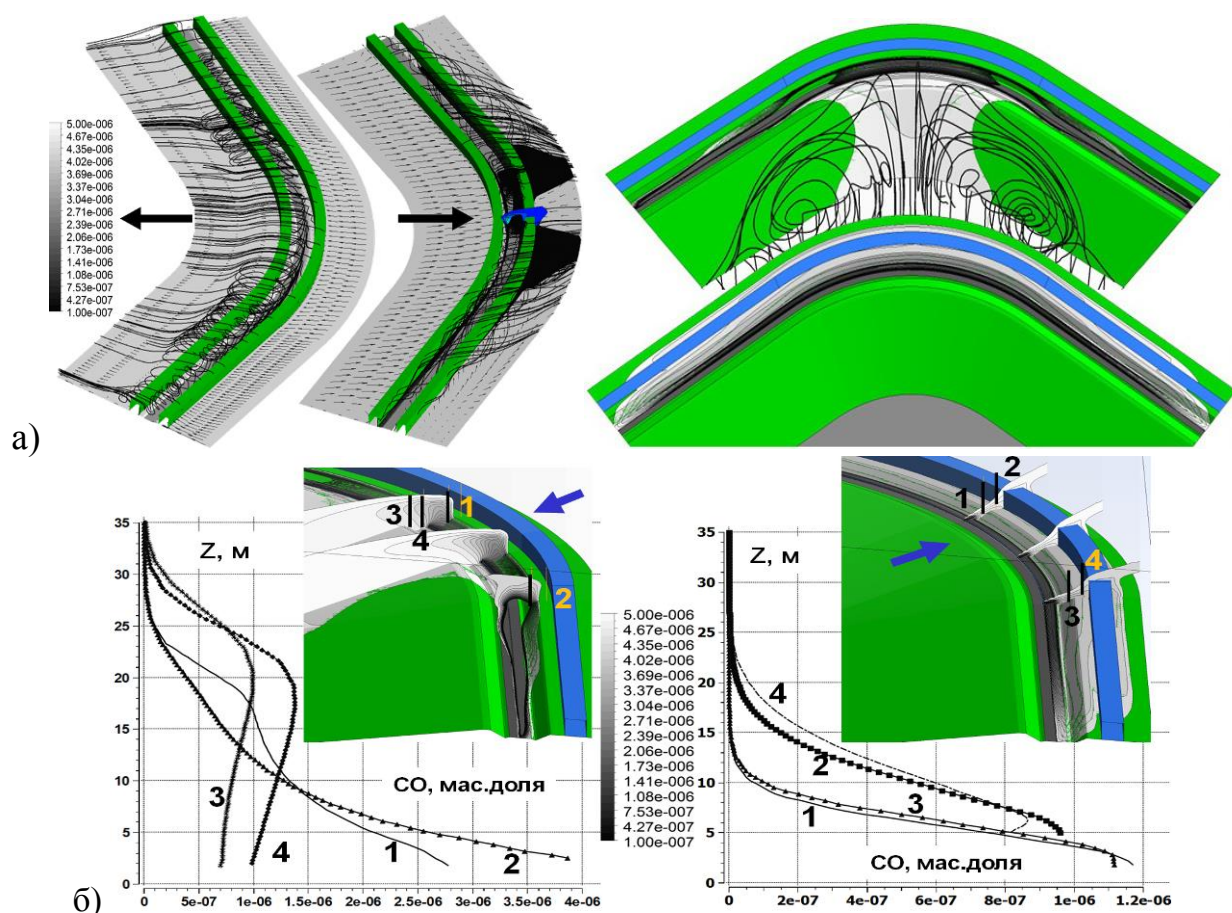


Рисунок 3 – Перенос СО при различной ветровой эпоре на типовых участках автодороги. Линии тока и распределения СО по высоте в характерных точках

Литература

1. Говорущенко Н.Я. Проблемы и методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог/ Н.Я.Говорущенко, В.В.Филиппов, Г.В.Величко / Автоматизированные технологии CREDO'2000. - С.45-51
2. Flow and transport with complex Obstructions/ Applications to Cities. Vegetative Canopies and Industry/ Editors Ye. Gayev, Julian Hunt. Springer Publ. - 2007. - 414p.
3. Солодов В.Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011. - 167с
4. Солодов В.Г. Научно-прикладной программный комплекс MTFs® для расчета трехмерных вязких турбулентных течений жидкостей и газов в областях произвольной формы. / В.Г.Солодов, Ю.В.Стародубцев / Сертификат гос. регистр. авт. прав, УГААСП, №5921, 07.16.2002
5. Варгафтик В.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. -720с.
6. Солодов В.Г. Математичне моделювання забруднення атмосферного повітря придорожного простору / В.Г.Солодов, В.В.Філіппов, В.К.Жданюк, И.В.Кияшко / Автошляховик України/ - 2009. №3. С.42-47