

Солодов, Валерий Григорьевич, д.т.н., профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, solodov@khadi.kharkov.ua

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В УСЛОВИЯХ БОКОВОЙ ВЕТРОВОЙ ЭПЮРЫ.

Работа посвящена моделированию распространения атмосферных загрязнений в приземном слое автомобильной дороги общего назначения и является развитием исследования [1].

Анализ публикаций. В мировой практике существуют два направления исследования данной проблемы: построение на основе многолетних наблюдений корреляционных зависимостей, учитывающих основные факторы влияния [2], и численное моделирование различных сценариев с целью выявления скрытых зависимостей, тенденций в дисперсии примесей в приземном слое, моделирования некоторых основных параметров состояния окружающей среды [3]. 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 [4] 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 [4]. 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 [4] 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 MTFs® [5] методом установления от заторможенного состояния к развитому установившемуся в среднем течению. 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 [2] 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 [6], приняты летние среднесуточные параметры атмосферы.

Обсуждение результатов. Исследована интенсивность крупномасштабной завихренности при наличии насаждений для участка криволинейной в плане автомобильной дороги (рис.1,2). На рис.2 представлены поля вектора скорости, и поля модуля скорости на высоте 3 метров от поверхности земли, а также линии тока переноса примеси в шкале концентрации CO.

Завихренность незначительна при низкой плотности листвы, что соответствует переносу примеси в нижнем слое насаждений [7]. 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 по ветру (рис. 2).

При направлении ветра вдоль доминирующего направления автодороги (рис. 2а) воздушные потоки тормозятся с вогнутой стороны, и примесь концентрируется с вогнутой стороны автодороги. С выпуклой стороны, напротив, происходит ускорение воздушных масс. Внутри области автодороги, ограниченной насаждениями, происходит снос вихревого движения примеси вдоль автодороги. При направлении ветра поперек доминирующего направления автодороги (рис. 2 б, в) воздушные потоки тормозятся перед насаждениями, и направление ветровой эпюры испытывает скольжение вдоль изгиба автодороги. При этом внутри области автодороги, ограниченной насаждениями, происходит снос и диффузия вихревого движения примеси вдоль автодороги.

Таким образом, скос линий тока набегающего ветрового потока по отношению к осевой линии автодороги способствует сносу примеси вдоль автодороги. Характеризуется углом скоса между вектором скорости набегающего потока и направлением касательной к осевой линии автодороги [1].

При направлении ветра с выпуклой стороны примесь сносится вдоль осевой линии за счет острого угла скоса потока (рис. 2б), улучшается вентиляция изгиба дорожного полотна, и максимальные значения концентрации примеси снижаются в сравнении с участком, не содержащим изгиба.

Для разреженных насаждений эффект скоса мал, и линии тока мало отклоняются от начального направления за исключением линий в тонком приземном слое, где динамический напор ветра мал. Для плотных насаждений эффект отклонения линий тока от начального направления является существенным, и проявляется в понижении концентрации примеси в случае ветра с выпуклой стороны изгиба автодороги, либо в повышении концентрации примеси при ветре с вогнутой стороны изгиба.

Структура вихревого течения при плотной листве напоминает течение в уличном каньоне [3] с изгибающейся осевой линией.

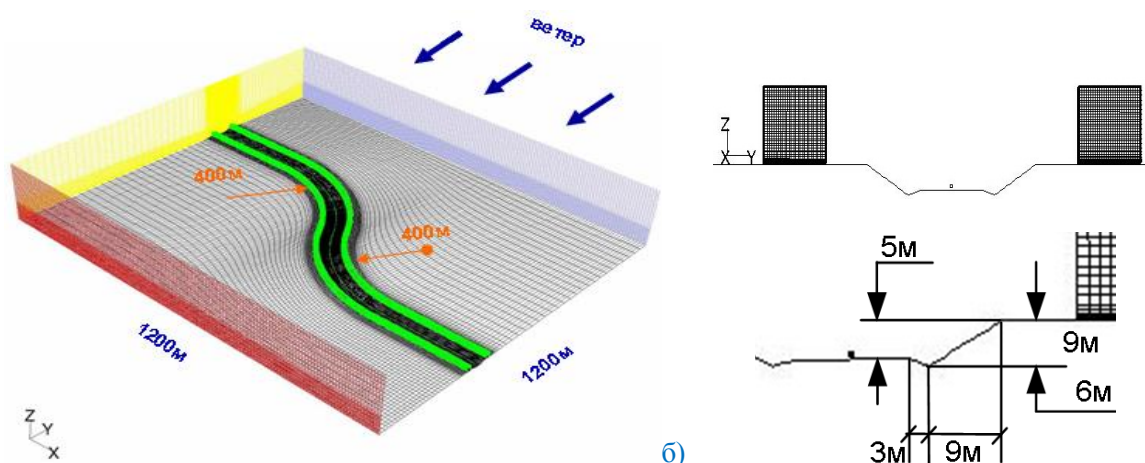


Рисунок 1 – Геометрия участка автодороги

Выводы. На изгибе автомобильной дороги сопротивление пропорционально углу скоса, т.е. уменьшается при появлении скоса, что улучшает проветривание участка. Сопротивление ветровой нагрузке дополнительно уменьшается за счет увеличения эффективного расстояния между насаждениями вследствие скоса.

Работа финансировалась МОН Украины.

Литература

1. Солодов В.Г., Авершин А.Г. Перенос примеси в приземном слое автомобильной дороги в условиях боковой ветровой эпюры. / Наукові праці міжнародної наук. конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування», ХНАДУ, жовтень 2018р. / Харків: ХНАДУ, - 2018. 4 стор
2. 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
3. Flow and transport with complex obstructions/ Applications to Cities. Vegetative Canopies and Industry/ Editors Ye. Gayev, Julian Hunt. Springer Publ. - 2007. - 414p.
4. Солодов В.Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011. - 167с
5. Солодов В.Г. Научно-прикладной программный комплекс *MTFS*[®] для расчета трехмерных вязких турбулентных течений жидкостей и газов в областях произвольной

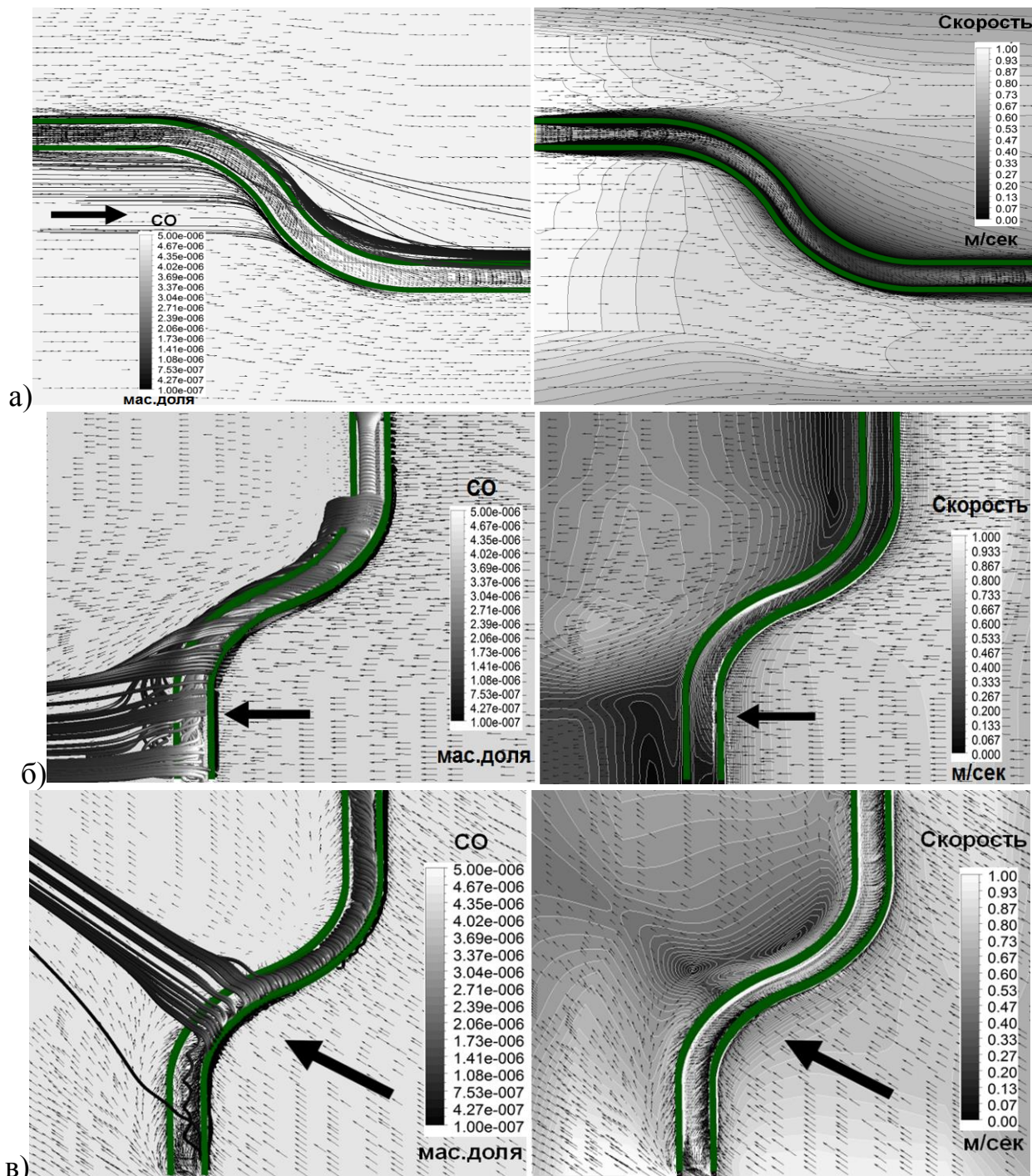


Рисунок 2 – Перенос CO при различной (а,б,в) ветровой эпоре