

ЗАДАЧА ОБ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Введение. Строительство автомобильных магистралей нового поколения подразумевает увеличение средней скорости передвижения и повышение мер безопасности движения на них. В этой связи особую актуальность приобретает изучение аэродинамики обтекания автотранспортных средств, формируемой под воздействием метеорологических условий вблизи автомагистралей, розы ветров, интенсивности движения и качества аэропланирования местности, прилегающей к автомагистрали.

Экспериментальные зарубежные исследования еще в 80-х годах показали важность учета и снижения боковых порывов ветра на автомагистрали для повышения безопасности движения. Так, в [1] показано, что при возникновении порыва ветра $\Delta u = 10 \text{ м/с}$ на сухом дорожном покрытии с нормированной силой сцепления боковой увод малолитражного легкового автомобиля на скорости 90 км/час может составить до 2 м за время около 2 сек. Поэтому актуальными являются вопросы аэродинамического взаимодействия встречных транспортных средств, особенностей формирования следа, особенно в связи с переходом Украины на новые нормы относительно ширины проезжей части автодорог различных категорий.

Постановка задачи. Ниже предлагается модель аэродинамического взаимодействия транспортных потоков на примере фрагмента транспортной магистрали, проекция которого на горизонтальную плоскость показана на рис.1. Фрагмент содержит подобласти OA1B1O и OA2B2O, которые движутся, и области A2A3B2B3 и A0A1B0B1, которые моделируют пространства обочин. Считаем данный фрагмент представительным с точки зрения определяющего влияния его элементов на состояние атмосферы в пространстве автодороги. Течение атмосферного воздуха моделируется численно на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, с замыканием подходящей моделью турбулентности [2]. Атмосферная среда может быть описана, как смесь газов постоянной плотности [3]. Ставится задача об определении основных газодинамических параметров атмосферного следа: давления, компонент скорости среды, а также параметров примеси на участке транспортной магистрали в переменных Эйлера при наличии движущихся транспортных средств.

В системе отсчета неподвижного наблюдателя сеточные пространства подобластей 1 и 2 с наборами движущихся транспортных средств скользят относительно друг друга в воздушной среде, которая увлекается ими вследствие аэродинамического взаимодействия.

Течения в каждой из подобластей OA1B1O и OA2B2O описываются в

подвижных системах отсчета и являются относительными. В этих системах отсчета транспортные средства групп являются неподвижными, однако воздушная среда, поверхности дорожного покрытия и возможные неподвижные объекты на обочинах движутся с противоположными скоростями.

Постановка граничных условий для каждой подобласти вдоль поверхности 0-0, A1B1, A2B2 основывается на пересчете векторов потоков газодинамических величин из одной системы отсчета в другую. Область периодичности может иметь произвольную длину и включать произвольное количество участников движения.

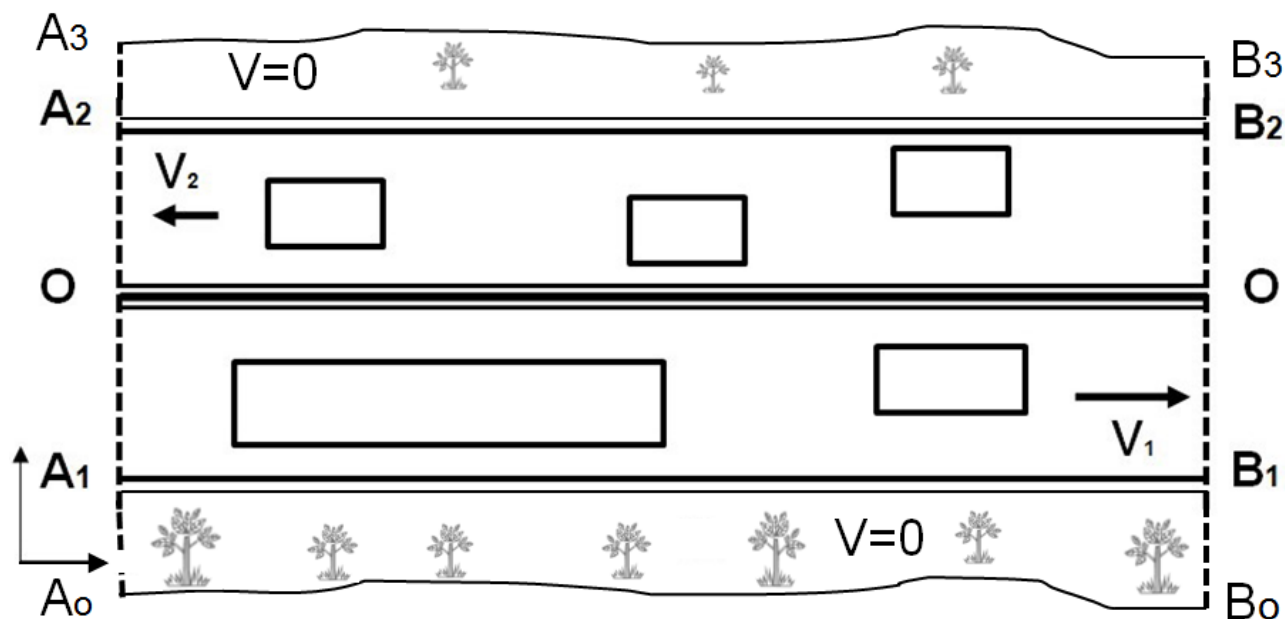


Рисунок 1 – Расчетная область

На данную постановку задачи накладываются ограничения. В частности, участок дороги считается прямолинейным, транспортные средства внутри подобластей не маневрируют, движутся со скоростью движения подобластей. На границах всей области (рис.1) вдоль линии движения предполагается ее продолжение периодически, в пренебрежении влиянием возможных непериодических внешних элементов движения, особенностей рельефа, внешних атмосферных условий и возмущений. Вторым вариантом продолжения может быть, например, равенство нулю производных от газодинамических параметров на границах A1A2, B1B2, A2A3, B2B3, A0A1, B0B1.

Рассмотрим пример первого варианта для случая двухполосного движения. Пусть первая сторона фрагмента содержит n_1 элементов движения, вторая сторона – n_2 элементов движения. Рассматриваем равномерное движение элементов с постоянной скоростью и без обгонов. В абсолютной системе отсчета, связанной с неподвижным полотном дороги, первая группа движется со скоростью v_1 , вторая группа – со скоростью v_2 относительно неподвижного наблюдателя на обочине. Направления и величины скоростей групп произвольны, расстояния между элементами в группах заданы произвольно, размеры и конфигурация элементов также произвольны и

определяются целями исследования и возможностями вычислительной техники.

Обсуждение результатов. Для демонстрации постановки ниже рассматриваются примеры аэродинамического взаимодействия пар пассажирских и легковых автомобилей во встречном движении. Для автобусов (рис.2) размеры области погружения $60 \times 12 \times 12 \text{ м}^3$, размеры каждого транспорта $10 \times 3 \times 3 \text{ м}^3$. В случае легковых автомобилей (рис.3) размеры области погружения меньше - $16 \times 7 \times 6 \text{ м}^3$, размеры каждого автомобиля $4 \times 2 \times 1.5 \text{ м}^3$. Транспортные средства моделируются без колес и двигаются в первом случае на высоте 1м, во втором случае - 0.15м от дорожного полотна; расстояния между автомобилями в первом случае 3м, во втором случае - 5м. Каждый автомобиль обтягивается экспоненциально сгущаемой сеткой для моделирования пограничного слоя, на дорожном покрытии также моделируется пограничный слой. Для расчета задается скорость каждой подобласти 16м/с и выполняется стационарный расчет. Далее применяется алгоритм нестационарного расчета, разработанный автором применительно к аэродинамическому взаимодействию взаимно движущихся решеток турбинной ступени [4].

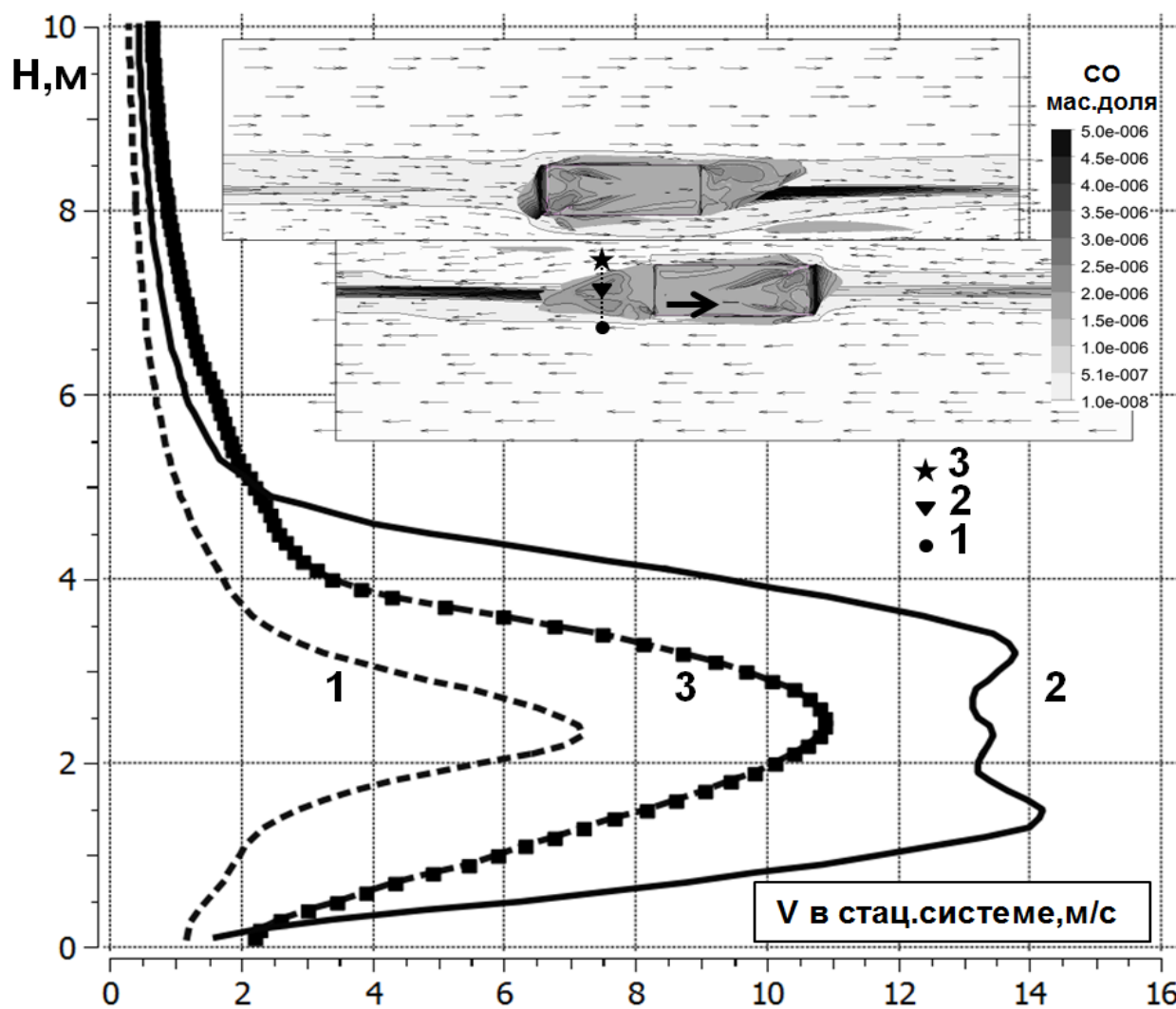


Рисунок 2 – Аэродинамическое взаимодействие двух автобусов

Для аккуратного моделирования следа за автомобилем, его турбулентных характеристик, развитой диффузии примеси выхлопа, сетка, наполняющая пространство каждой подобласти, должна быть достаточно мелкой. Нестационарный расчет при этом вынужденно реализуется мелким временным шагом, что вызывает повышенные требования к вычислительной системе. В демонстрационных примерах применялись сетки среднего уровня и расходы выделения CO из оценочных данных [5].

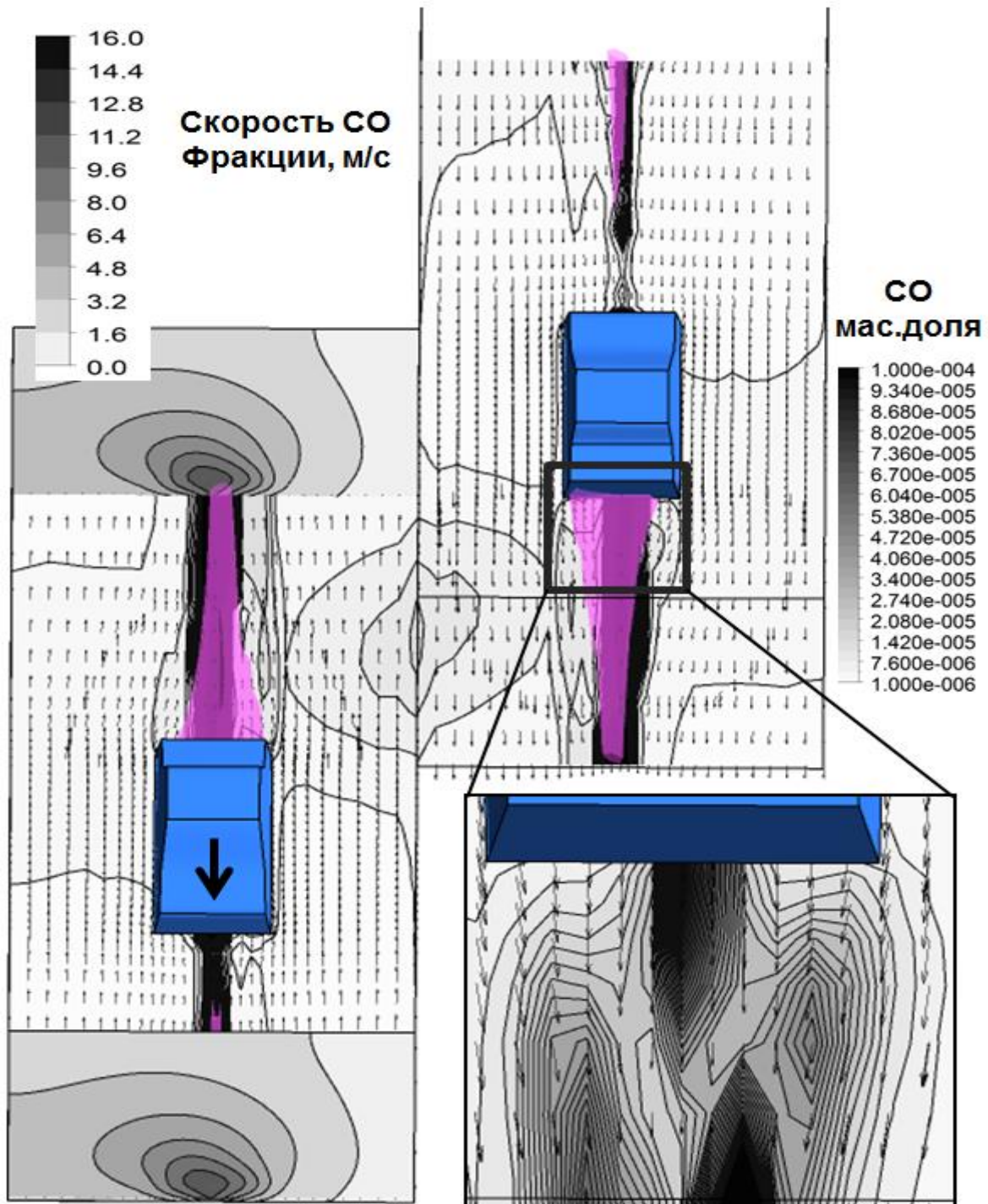


Рисунок 3 – Аэродинамическое взаимодействие двух легковых автомобилей

На рис.2 для случая встречного движения автобусов представлены изолинии скорости массовой доли СО в неподвижной системе отсчета, линии уровня массовой доли СО, а также поверхность уровня скорости воздуха со значением 14м/с. Для неподвижного наблюдателя нижний на рисунке автобус движется вправо, что эквивалентно движению воздушной среды влево. За автобусом представлены распределения скорости воздуха в стационарной системе отсчета по краям и в центре следа. Наибольшее значение скорости регистрируется в центре следа, также отмечается увеличение скорости между автобусами за счет сужения канала, скорость с внешней стороны автобуса низкая и падает до нуля на обочине автодороги. Аналогичный сценарий представлен на рис.3, где показаны изолинии скорости фракции СО, выделяемой выхлопом легкового автомобиля в неподвижной системе отсчета, линии уровня массовой доли СО и поверхность уровня массовой доли СО со значением $5e-06$. Векторы скорости воздушной среды даны в подвижных системах отсчета, связанных с автомобилями. Нестационарное течение в примерах усреднено среднеквадратично по нескольким картинам течения каждого случая.

Выводы. Предложена численная модель аэродинамического взаимодействия транспортных средств в условиях движения по прямолинейному участку автодороги, в тоннелях, допускающая произвольное количество транспортных средств в каждой подобласти, произвольную периодически повторяющуюся конфигурацию растительности на обочинах. Модель может использоваться для прогноза распространения компонентов выхлопа в придорожном пространстве, параметров силового взаимодействия кузовов.

Работа финансировалась МОН Украины.

Литература

1. Emmelmann H.J. Technologien für Sicherheit im Strassenverkehr, Einfluss der Luftkräfte auf Fahrdynamik, Unfalltrachtige Fahrsituationen. –S.308-311, TÜV Rheinland GmbH, Köln, 1986.
2. Солодов В.Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011. - 167с
3. Варгафтик В.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. -720с.
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. 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