

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ FLOWVISION ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АВТОБУСОВ В КОЛОННЕ

Головнев И., к.т.н., Платов С., к.т.н., Лапшин К.
 ФГУП «ГосНИИАС», Москва, Россия
Актуальность

Россия – огромная страна, а тонно-километры в РФ несоизмеримы ни с одной из стран еврозоны. Экономия топлива (транспортные расходы) – это путь снижения себестоимости любой продукции. Работы по фактически косметическому снижению аэродинамического сопротивления C_x автомашин (порядка 2-13%) – дело нужное, но экономию совершенно другого порядка можно получить, организовав движение автомашин в колоннах. Еще Гухо¹ писал о существенном снижении сопротивления грузовиков:

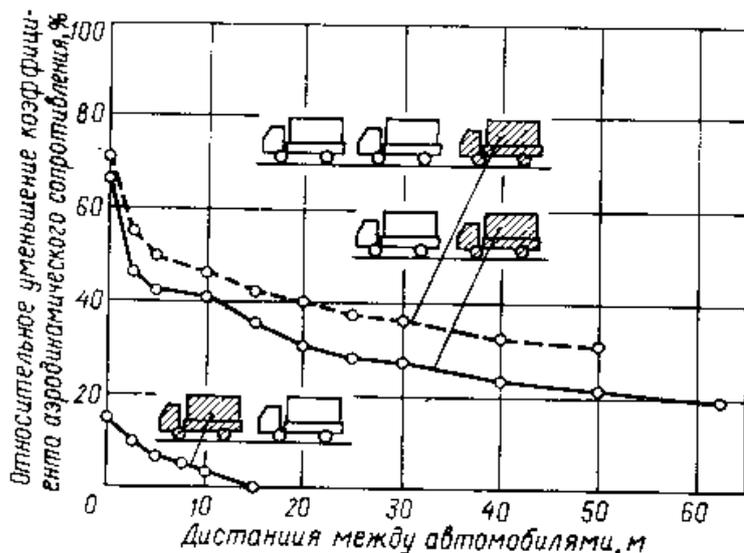


Рис.1. Изменение коэффициента сопротивления автомашин (по Гухо¹)

Расчетные методы определения сопротивления плохообтекаемых тел

1. Настойчивые попытки использовать метод моделирования крупных вихрей (LES) для расчета обтекания одиночного автобуса, предпринятые Крайновичем²⁻⁵, подтвердили шаткость этого метода, сформулированную еще П. Брэдшоу – «вблизи стенки крупных вихрей нет» - огромные трудозатраты. Несмотря на использованные мощные ресурсы супер-ЭВМ, машинное время, исчисляемое сотнями часов, упрощенные схемы обтекания автобусов, как видно из рис. 2 (по Крайновичу):

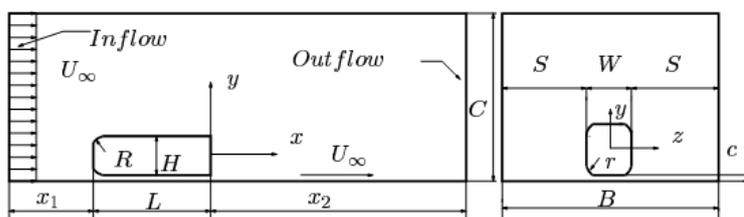


Рис.2. Схема обтекания прототипа автобуса по LES (по Крайновичу²⁻⁵)

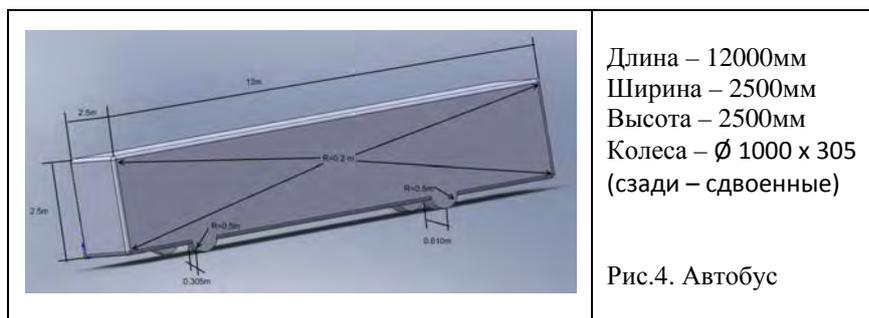
конечные результаты поражают скудостью и, вероятно, настолько далеки от реальности, что главная характеристика обтекания тел – сопротивление C_x даже не приводилось в этих работах. А «красивые» картинки «мгновенных» значений скоростей могут пригодиться лишь в лекционных целях, а не для практиков-конструкторов. Sic!

2. Моментное моделирование турбулентных течений URANS (моментные модели турбулентности) – по-прежнему мощный инструмент решения прикладных задач. Выбор комплекса [FlowVision](#) для решения задачи движения колонны автобусов определялся факторами эффективного решения уравнений URANS и низкими потребными ресурсами (ОЗУ) в сравнении с аналогичными CFD (PHOENIX, FLUENT, CFX, STAR). Задачи трехмерного нестационарного обтекания тандема и тройки автобусов были решены с помощью обычных офисных ПК (с ОЗУ < 4ГБт). Были приняты допущения в модели расчета: лидер колонны шел в маловозму-

шенном изотермическом потоке воздуха (без бокового ветра и осадков), следующие шли соосно вслед за лидером на фиксированном, но разном расстоянии со скоростью лидера (постоянной).

Габаритная схема автобусов (прототип – МАЗ)

Эскиз прототипа автобуса представлен на рис.4 (аналог – автобус МАЗ):



Длина – 12000мм
 Ширина – 2500мм
 Высота – 2500мм
 Колеса – Ø 1000 x 305
 (сзади – сдвоенные)

Рис.4. Автобус

Следуя рекомендациям Гухо¹, все «края» автобуса были сглажены по рекомендуемому радиусу (0.2м), днище (для упрощения) – плоское.

Тестовые расчеты «бесколесного» автобуса

В CFD-комплекс FlowVision входит ряд моделей турбулентности, выбор «лучшей» из которых требует или высокой квалификации Пользователя или метода расчета по всем с последующим субъективным выбором «лучшего» расчета. Был выбран второй путь (попутно отработывая сетку и методы адаптации) и просчитан прототип (без колес и скруглений, с зазором от дороги в высоту радиуса колеса) по 4-м моделям турбулентности:

Как видно из таблицы, отклонение в расчете сопротивления C_x по всем 4-м моделям (стандартной k-ε, квадратичной, SST Ментера и SA Спалларт-Алмараса) – не более 5% и хотя расчет экономичней провести в этом случае по модели SA, расчет движения колонны (обтекание автобусов) проводился по модели k-ε (с пристеночными функциями):

cubus					
длина	м	12	12	12	12
ширина	м	2,5	2,5	2,5	2,5
высота	м	2,55	2,55	2,55	2,55
Fмиделя	кв.м	6,375	6,375	6,375	6,375
Vh	км/ч	80	80	80	80
V	м/с	22,2	22,2	22,2	22,2
q	Па	247	247	247	247
turbmod	FV	k-ε	quadr	SST	SA
drag		1290	1259	1220	1245
Cx		0,82	0,80	0,78	0,79

Обтекание тандема автобусов

Был проведен целый цикл расчетов (разные расстояния между автобусами при разной скорости движения), но здесь приведены результаты лишь для случая скорости движения $V=80$ км/ч. Была найдена «автомодельность» (т.е. независимость от скорости) сопротивления одиночного автобуса C_x в диапазоне скорости движения от 30 до 110 км/ч, а также существенный рост сопротивления при смещении второго автобуса от центра вбок (превышающий даже сопротивление одиночно идущего автобуса на 30 и более процентов).

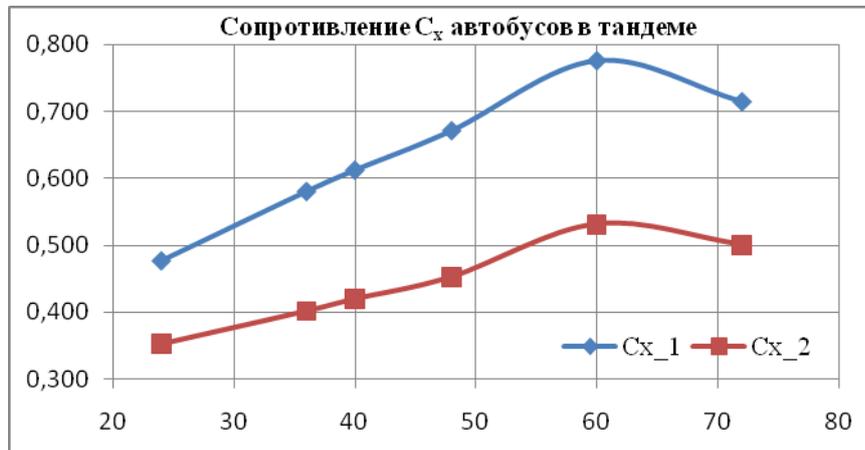


Рис.5. Сопротивление C_x тандема автобусов (bus1 – лидер)

Из рис.5 видно, что хорошо известный из практики эффект снижения аэродинамического сопротивления идущего за лидером (рис.1) подтверждается расчетом, как и эффект некоторой экономии топлива и самим лидером (что также заметно на рис.1), причем эффект экономии самим лидером при движении в тандеме в расчетах более выражен, чем результаты, приведенные Гухо. Значительный эффект экономии топлива не идет ни в какое сравнение с «косметическими» улучшениями типа фартуков для автоприцепов и др. Экономический эффект движения колонной между удаленными городами необъятной РФ, многолетний опыт организации таких колонн МВД-ГИБДД (к примеру, перевозка детей в пионерские лагеря), т.е. нет причин препятствующих внедрению массовой организации колонн.

Обтекание тройки автобусов

Расчеты расчета сопротивлений тройки автобусов (рис.6)

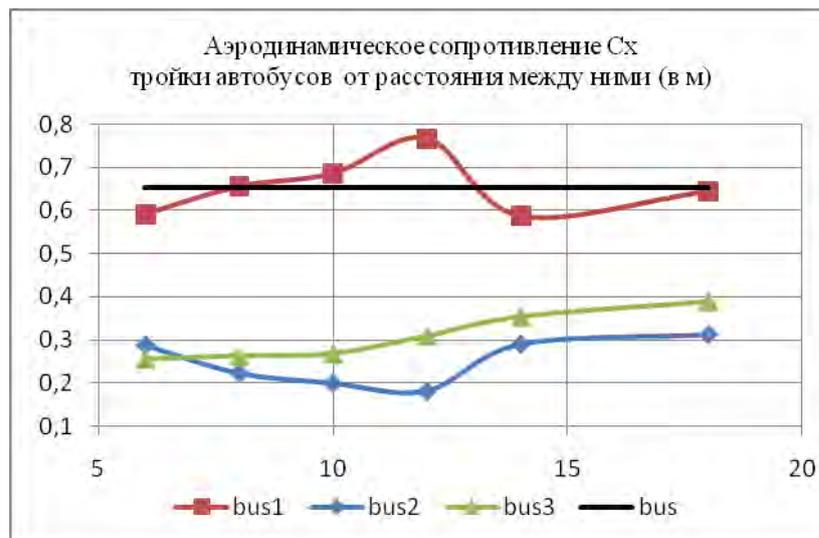


Рис.6. Сопротивление тройки автобусов (bus1 – лидер, bus – одиночный)

показали, что более экономичным оказывается идущий не третий (как в книге Гухо¹, см. рис1), а второй. Это отражает и физический факт – второй движется в следе лидера, а его след «деформируется» (и сокращается!) идущим за ним третьим, повышая давление в донной части.

Литература

1. Гухо В.-Г. Аэродинамика автомобиля. М.,1987. 424с.
2. Krajnovic S. , Davidson L. "Large Eddy Simulations of the Flow Around A Simplified Bus", 3rd AFOSR International Conference on DNS and LES, Arlington, Texas, 2001. – 8pp.
3. Krajnovic S. , Davidson L. "Numerical study of the flow around the bus-shaped body", ASME J. Fluid Engng., Vol. 125, pp. 500-509, 2003.
4. Krajnovic S. , Davidson L. "Exploring the Flow Around a Simplified Bus with Large Eddy Simulation and Topological Tools", The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses and Trains, Monterey-Pacific Grove, California, USA, 2002