

## 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 Гухо<sup>1</sup> писал о существенном снижении сопротивления грузовиков:

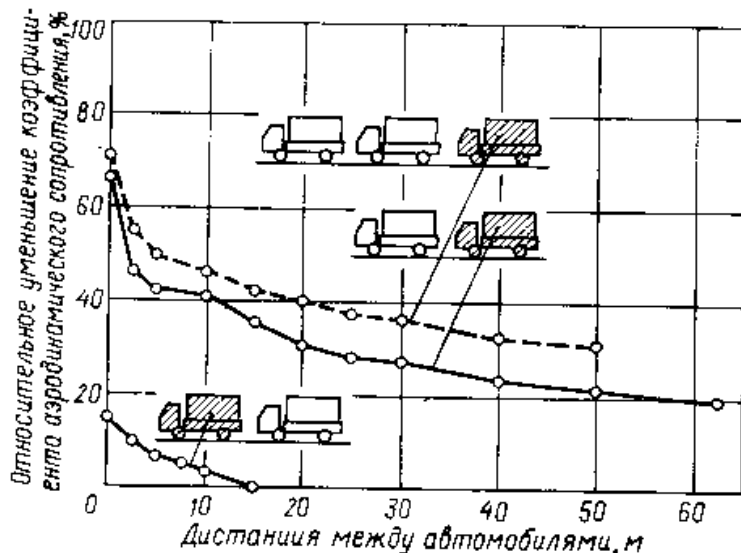


Рис.1. Изменение коэффициента сопротивления автомашин (по Гухо<sup>1</sup>)

### Расчетные методы определения сопротивления плохообтекаемых тел

1. Настойчивые попытки использовать метод моделирования крупных вихрей (LES) для расчета обтекания одиночного автобуса, предпринятые Крайновичем<sup>2-5</sup>, 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):

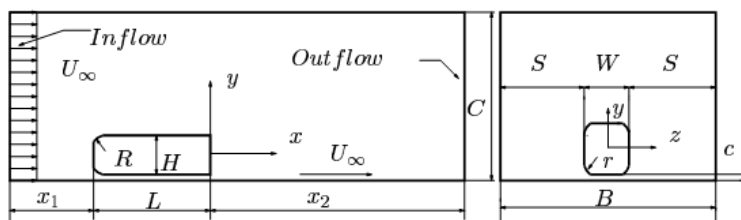


Рис.2. Схема обтекания прототипа автобуса по LES (по Крайновичу<sup>2-5</sup>)

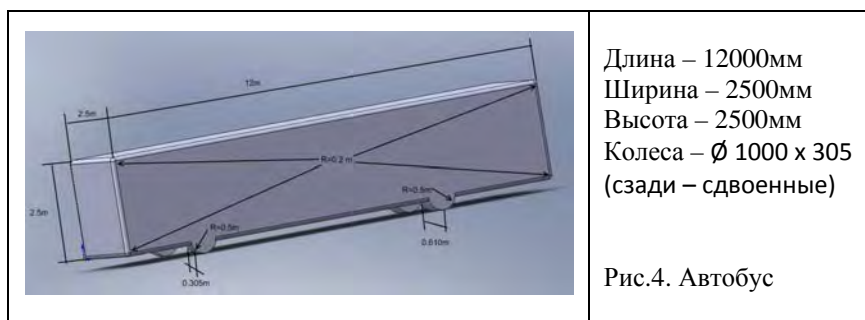
конечные результаты поражают скудостью и, вероятно, настолько далеки от реальности, что главная характеристика обтекания тел – сопротивление  $C_x$  даже не приводилось в этих работах. А «красивые» картинки «мгновенных» значений скоростей могут пригодиться лишь в лекционных целях, а не для практиков-конструкторов.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



Следуя рекомендациям Гухо<sup>1</sup>, 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	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
V	м/с	22,2	22,2	22,2	22,2
q	Па	247	247	247	247
<b>turbmod</b>	<b>FV</b>	<b>k-e</b>	<b>quadr</b>	<b>SST</b>	<b>SA</b>
<b>drag</b>		<b>1290</b>	<b>1259</b>	<b>1220</b>	<b>1245</b>
<b>Cx</b>		<b>0,82</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>

### 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).

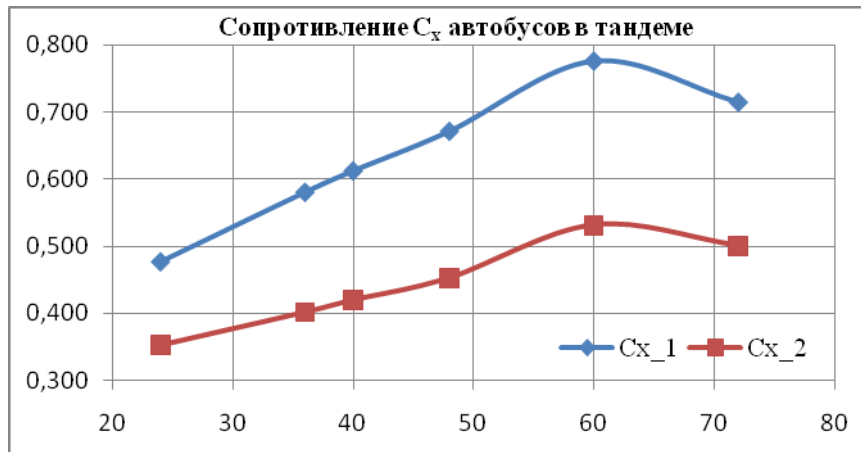


Рис.5. Сопротивление  $C_x$  тандема автобусов (bus1 – лидер)

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)

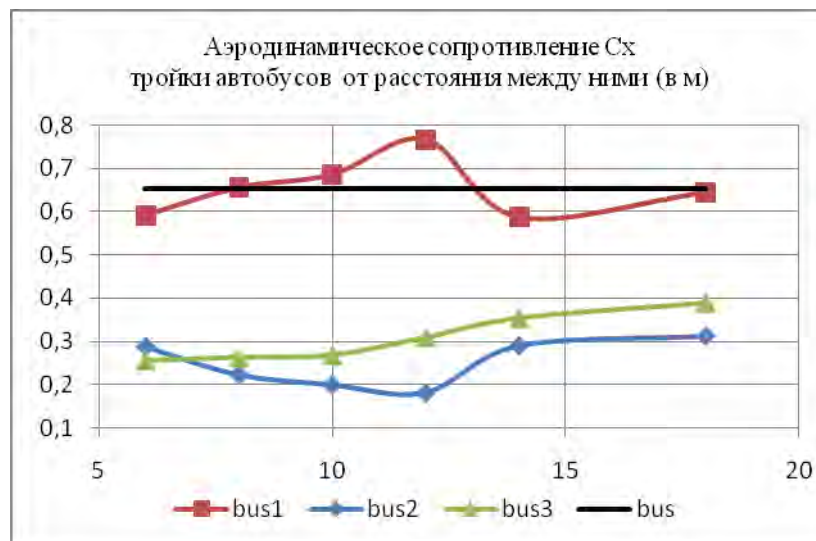


Рис.6. Сопротивление тройки автобусов (bus1 – лидер, bus – одиночный)

показали, что более экономичным оказывается идущий не третий (как в книге Гухо<sup>1</sup>, 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