

УДК 629.433.2

**К МЕТОДИКЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОДИНАМИКИ ТРАМВАЯ
TO THE METHOD OF FORMING AND DETERMINING THE
CHARACTERISTICS OF TRAM AERODYNAMICS**

Мурог К.А., Таяновский Г.А., к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь
Murog K.A., design engineer,
Tayanousky G.A., Ph.D.in Engineering, Associate Professor
Belarusian national technical University,
Minsk, Belarus

Конкретизированы методические положения формообразования, оценки аэродинамического сопротивления дизайн-концепта городского трамвая и влияния формы на эксплуатационные свойства машины.

The methodological provisions of the shaping, the estimation of the aerodynamic resistance of the design concept of the urban tram and the influence of the form on the operational properties of the machine are specified.

ВВЕДЕНИЕ

Создание трамваев новых концепций и компоновочных схем требует определения их рациональной формы и параметров по критериям различных функциональных и потребительских свойств.

По-прежнему актуальны методические разработки по теории формообразования современного городского пассажирского транспорта и по практическому решению задач изыскания и выбора рациональной формы трамвая с прогнозом ее художественно-эстетической оценки и влияния на важнейшие эксплуатационные свойства мобильной машины.

Цель данной работы - формирование методических положений сравнительной оценки аэродинамического сопротивления городского трамвая на масштабных макетах вариантов дизайн-концепта с учетом их специфики для выработки рекомендаций по формообразованию трамвая и последующего исследования влияния внешней формы на эксплуатационные свойства машины.

СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТЕРЬЕРА ДИЗАЙН-КОНЦЕПТА ТРАМВАЯ

При создании экстерьера трамвая основными дизайнерскими средствами композиции являются: пропорциональность, симметрия и асимметрия, статика и динамика, ритмичность, тектоника, объемно-пространственная структура, масштабность, ритм, акцент, нюанс, цвет, фактура, контраст, стиль, информативность. В то же время при этом реализуются и различные конструкционные принципы формообразования: унификация и комбинаторика, морфологические преобразования формы на основе общемашиностроительных и объектно-ориентированных банков эвристических приемов, принцип изменения линейных размеров по одной координате на основе общего сечения, принципы секционирования, инвертирования, модифицирования элементов геометрии и материалов и др.

При этом перечисленные средства используют для достижения оптимальной внешней формы трамвая, среди прочего, и с позиции аэродинамического совершенства.

Выбор экстерьера концепта нового трамвая связан с необходимостью принятия многих компромиссных решений [1, 2], которые учитывают требования многочисленных стандартов, регламентов, специфику психосемантики оценивания художественно-эстетических и эксплуатационных качеств трамвая и другие аспекты. В таблице 1 приведена достаточно подробно дифференцированная классификация показателей художественно-эстетического свойства дизайн-решения трамвая.

Причем форма трамвая – это результат решения оптимизационной, во многом субъективно компромиссной, многокритериальной задачи обеспечения как высоких показателей художественно-эстетического свойства дизайн-решения трамвая, так и его технических эксплуатационных показателей.

Форма трамвая существенно влияет на показатели его функциональных свойств, среди прочего, и через аэродинамические характеристики. С ростом скоростей (до 90..120 км/ч) движения трамваев большой пассажироместимости на обособленных от дорожной сети линиях связи периферийных микрорайонов или крупных пригородных поселений современных урбанизированных мегаполисов аэродинамическое сопротивление подвижного состава в наибольшей степени определяет затраты энергии на движение.

Таблица 1

Классификация показателей художественно-эстетического свойства дизайн-решения трамвая	
<i>Наименование группы показателей потребительского свойства</i>	<i>Показатели, определяющие художественно-эстетическое свойство потребительского качества трамвая</i>
Информативность формы	<ul style="list-style-type: none"> - проявление в трамвае главной композиционной идеи, эксплуатационных возможностей и особенностей, коррелированности со средой эксплуатации; - узнаваемость, заметность, освещенность трамвая; - наличие и характеристики оригинальных формообразующих элементов, отличающих данный трамвай от аналогов и прототипов.
Композиционное совершенство	<ul style="list-style-type: none"> - соответствие композиции трамвая функционально-конструктивной характеристике назначения; - согласованность конструктивно-компоновочного решения с эстетической характеристикой объемно-пространственной структуры трамвая; - органичность членения на секции многосекционного трамвая для организации функционально оптимальной, эстетически целесообразной структуры трамвая; - композиционная увязка различных по структуре и функции элементов формы, единство характера элементов формы; - тектоничность конструкции, выражение формой композиционных элементов характера работы конструкции узлов и деталей трамвая; - композиционная увязка элементов графики, цветового и свето-отражательного решения со структурой формы.
Гармоничность формы	<ul style="list-style-type: none"> - логичность развития формы как продолжение композиционной целостности структуры трамвая; - соответствие формы трамвая в целом и композиционных элементов в отдельности выбранному материалу конструкции; - соответствие пластической проработки формы композиционному решению.
Совершенство производственного исполнения внешнего вида промышленного образца	<ul style="list-style-type: none"> - тщательность покрытия и отделки поверхностей; - чистота выполнения сочленений, скруглений и сопрягающихся поверхностей; - четкость исполнения фирменных знаков, указателей, других стиливых атрибутов и эксплуатационной документации трамвая.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАСШТАБНОГО МАКЕТА ТРАМВАЯ

Современные программные средства для исследования аэродинамики мобильных машин позволяют до создания машины в металле выполнить вполне практически приемлемый прогноз ее аэродинамических характеристик. Аппаратные средства для натурного эксперимента по продувке полномасштабных макетов мобильных машин дорогостоящи и недоступны для большинства отделов общей компоновки машин в составе КБ. На этапе первичной отработки вариантов внешней формы машин на малых макетах вполне приемлемо использование простейших аэродинамических малогабаритных установок. При этом, как показал анализ подобных исследований, возможно получение адекватных по характеру протекания зависимостей показателей аэродинамического сопротивления в зависимости от геометрии масштабного макета с такими же для натурного образца машины.

Стенд для сравнительной продувки масштабных макетов вариантов трамвая показан на рисунке 1. Названия структурных частей стенда указаны на рисунке. Измерение силы сопротивления передвижению макета под действием набегающего потока воздуха от вентилятора, за вычетом сопротивления качению макета на верхнем стекле по игольчатым роликам, опирающимся на нижнее горизонтальное стекло, измеряется по увеличению длины тарированной пружины растяжения с помощью лазерного дальномера, а скорость воздушного потока – с помощью прецизионного тахогенератора ТГП -1А, на валу которого закреплены лопасти. Скорость потока воздуха изменяется плавно от системы управления вентилятором. Направление потока набегающего воздуха можно менять в плане и в вертикальной плоскости, изменяя углы поворота штатива и корпуса вентилятора. Сигналы от датчиков перемещения и скорости потока можно отсчитывать на шкалах измерительно-регистрирующего пульта. Меняя варианты макетов разрабатываемого трамвая с отличающейся формой, получают числовой материал для сравнения значений сил аэродинамического сопротивления. А затем оценивается влияние последнего на некоторые эксплуатационные свойства варианта трамвая. Проведенные опыты показали его пригодность для исследований.

**СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
МАСШТАБНОГО МАКЕТА ТРАМВАЯ**

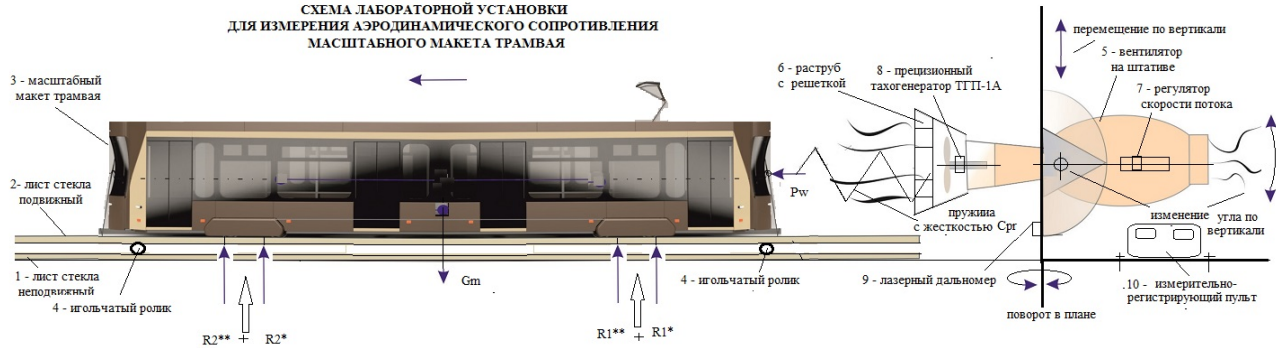


Рисунок 1

Превалирующим компонентом общего аэродинамического сопротивления трамвая является сопротивление его внешней формы. Чем больше площадь миделевого сечения, тем больше аэродинамическое сопротивление при сохранении пропорций подобия объема и контура формы. Из исследований по аэродинамике движущихся машин известно, что внешняя форма машины имеет формообразующие элементы, которые являются источниками образования турбулентных вихрей при взаимодействии с набегающим потоком воздуха, определяет месторасположение зон повышенного и пониженного и значения давлений. На образование и сход вихрей с обвески кузова трамвая затрачивается электрическая энергия, с помощью которой приводятся в тяговый режим колеса трамвая. Из этого следуют выводы: 1) форма трамвая во многом определяет затраты энергии на движение трамвая; 2) изменением формы трамвая можно влиять на его аэродинамическое сопротивление и, как следствие, на эксплуатационные свойства подвижного состава.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАМВАЯ

Как известно, общее аэродинамическое сопротивление наземной мобильной машины состоит из пяти составляющих: сопротивление формы; индуктивное сопротивление; поверхностное сопротивление; интерференционное сопротивление; сопротивление внутренних потоков [2,3].

Общие рекомендации по уменьшению аэродинамического сопротивления мобильной машины заданного назначения включают мероприятия: по устранению зон повышенного и пониженного давления воздуха, отрывных течений и образования вихрей; по обеспечению в наибольшей степени ламинарного обтекания набегающим потоком воздуха по площади всей по длине внешней формы машины в диапазоне рабочих скоростей, с учетом воздействия боковых порывов ветра.

Практическая конкретизация приведенных общих рекомендаций включает, в зависимости от назначения и вида мобильной машины, свой набор приемов. Применительно к формообразованию внешнего обвеса трамвая можно рекомендовать следующие мероприятия.

Уменьшению турбулентного вихреобразования на лобовой и кормовой частях трамвая, определяющих характер обтекания его воздушным потоком и наличие отрывных течений воздуха, способствуют:

- увеличение углов встречи (угла между направлением вектора скорости движения трамвая и касательной к форме в плоскости, проходящей через

вектор скорости и перпендикуляр к форме в заданной ее точке) и уменьшение углов отражения от формы;

- увеличение радиусов закругления нижней, верхней и боковых кромок в месте перехода носовой и кормовой частей в часть кузова трамвая с постоянной формой и площадью поперечного сечения;

- придание носовой части формы на основе ряда кинематических поверхностей в виде параболоида, однополостного гиперboloида и цилиндроида, а кормовой части трамвая и ветровым стеклам в плане вида кинематических пространственных цилиндрических поверхностей с тремя направляющими;

- целесообразна гладкая с прямолинейной восстающей к корме на малый угол образующей (за счет обеспечения отрицательного угла тангажа при установке кузова трамвая) и с малой выпуклостью в поперечном сечении форма крыши трамвая, с целью уменьшения аэроподъемной силы, обеспечения стабильного сцепления колесных пар с рельсами и улучшения плавности и устойчивости хода трамвая;

- оправдано применение гладкого днища, закрытых специальными аэродинамическими панелями колесно-тележечных проемов с обеспечением минимального зазора между нижними кромками и рельсовым полотном, что позволяет приблизиться к безвихревому протеканию воздушных потоков в зоне под днищем корпуса трамвая;

- оптимизация контурной площади путем отказа от всех выступающих элементов конструкции, замена зеркал на камеры бокового и заднего вида, выполнение заподлицо дверных ручек и кнопок наружного открывания дверей, лючков для техобслуживания, светотехники, пакетов остекления, дверных блоков, выдвигающихся на остановках подножек микролифта для лиц с ограничениями опорно-двигательного аппарата и на инвалидных колясках, а также с детскими колясками, выполнение каплеобразной формы панели, закрывающей основание полупантографного или иной конструкции токосъема, выполнение выдвигающихся только при открывании дверей водоотводов при дождливой погоде, все это с целью уменьшения доли отрывных течений в балансе полного аэродинамического сопротивления трамвая;

- отказ от форточной системы и люков в крыше для проветривания пассажирского салона путем использования альтернативной системы организованного и дозированного забора и выброса воздуха для вентиляции и охлаждения/обогрева рабочего отделения вагоновожатого и салона, с целью уменьшения удельного веса сопротивления, создаваемого внутренними потоками воздуха, проходящими внутри трамвая для вентиляции или обогрева пассажирского салона;

- надежная герметизация мест соединения и касания формообразующих панелей внешнего обвеса трамвая, остекления, дверей с кузовом;
- в случае оборудования трамвая уловителем при столкновении с пешеходом целесообразно выполнять его навесным с закрытой легкодеформируемым пластиком зоной захвата, форма которого обладает хорошей аэродинамической обтекаемостью;
- существенное снижение аэродинамического сопротивления обеспечивает использование покрытий, композиционных панелей с очень малой шероховатостью;
- использование передних и задних спойлеров, при их пользе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе конкретизированы методические положения оценки аэродинамического сопротивления, формообразования дизайн-концепта городского трамвая и его влияния на эксплуатационные свойства машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэродинамика. Учебник, (2-е издание)/ Под ред. В.Т.Калугина, кол. авторов/, -2017, 608 с.
2. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля: учебное пособие. – М.: МГИУ, 2010.- 356 с.
3. Евграфов А.Н. Метод переноса результатов модельных испытаний на натурный автомобиль // Известия МГИУ, Машиностроение. – 2007. - №2, - с. 21-24.

УДК 629.433.2

АСПЕКТЫ КОРРЕЛЯЦИИ ЗАДАННОЙ СРЕДЫ МЕГАПОЛИСА И ЭКСТЕРЬЕРА ПРОЕКТИРУЕМОГО ТРАМВАЯ ASPECTS OF THE CORRELATION OF THE PROVIDED ENVIRONMENT OF THE MEGAPOLIS AND THE EXTERIOR OF THE PROJECTED TRAM

О.И. Нечай

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

O.I. Nechaj, design engineer,

Belarusian national technical University,

Minsk, Belarus