

# ПАМЯТНИКАМ — ТРУБА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ЦАГИ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ НЕ ТОЛЬКО ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. В АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБАХ НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ ИНСТИТУТА НАЧИНАЯ С 1925 ГОДА ИСПЫТЫВАЮТ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ФОРМ: МОНУМЕНТОВ, МОСТОВ, НЕБОСКРЕБОВ И ПОЕЗДОВ. АННА ГЕРОЕВА

**ДОГОВОРИТЬСЯ С ВЕТРОМ** Какие ветровые нагрузки должен выдерживать тот или иной наземный объект? Специалисты института успешно решают такие задачи не одно десятилетие. «В ЦАГИ к испытаниям промышленных сооружений приступили с декабря 1925 года, когда появилась первая аэродинамическая труба института — Т-1-2 на улице Радио», — говорит ведущий эксперт ЦАГИ в области аэродинамики зданий, архитектурных и строительных сооружений Александр Айрапетов. В разное время аэродинамические испытания в ЦАГИ прошли модели многих архитектурных объектов: скульптура Ленина для Дворца Советов, который так и не был построен, мемориальный памятник в Волгограде «Родина-мать зовёт», монумент Победы на Поклонной горе, статуя Христофора Колумба работы Зураба Церетели (установлена в городе Аресибо в Пуэрто-Рико) и аналогичный проект для Майами. Были в ЦАГИ и новая столичная Соборная мечеть, башня «Федерация». В трубе ЦАГИ побывал даже горбатый «Запорожец», который специалисты «продували» для оптимизации работы системы воздушного охлаждения двигателя.

Аэродинамическая труба Т-1-2, где впервые начали проводиться такие испытания, представляла собой установку с двумя рабочими частями закрытого типа восьмигранного сечения. Первая рабочая часть (Т-1) имеет диаметр вписанного круга 3 м, рабочая скорость потока — 50 м/с. Вторая — Т-2 — имеет диаметр вписанного круга 6 м со скоростью потока 25 м/с.

«Испытания в аэродинамической трубе проводятся при различных скоростях воздушного потока, а также различном его направлении и угле атаки. В процессе исследований измеряются полученные амплитуды колебаний и сравниваются с предельно допустимыми значениями. Скорости воздушного потока в аэродинамической трубе для модели малы, но для натурной конструкции они могут быть эквивалентны мощному урагану», — говорит специалист научно-исследовательского отдела ЦАГИ Андрей Козичев.

Исследования проводятся в несколько этапов. На первом специалисты ЦАГИ знакомятся с чертежами натурной конструкции и оценивают возможность возникновения колебаний. Затем происходит компьютерное моделирование воздействия воздушного потока на конструкцию. Определяется скорость ветра, при которой возможно возникновение колебаний, оценивается их амплитуда.

На следующем этапе в аэродинамических трубах ЦАГИ на динамически подобных моделях исследуется взаимодействие конструкции и воздушного потока. Самой сложной, но дающей наиболее достоверный результат является конструктивно подобная модель — уменьшенная масштабная копия конструкции.

**ШАРФИК КОЛХОЗНИЦЫ** Деформация от ветровых потоков негативно сказывается на любом высоком сооружении. Именно из-за размеров и массы чаще всего страдают крупные сооружения. Все дело в аэродинамической силе: чем больше препятствие, тем больше сопротивление. С ростом скорости ветра сила тоже увеличивается: она растёт пропорционально квадрату скорости. То есть рост скорости в два раза приведет к увеличению силы ветра в четыре раза. Кроме того, аэродинамическая сила зависит от ориентации того или иного объекта относительно направления ветра. Например, если ветер дует параллельно развевающемуся шарфику колхозницы (скульптура Веры Мухиной «Рабочий и колхозница»), то его сила относительно невелика, но если воздушный поток направлен на него, то сила возрастет. Поэтому при установке монументальных произведений учитывается роза ветров, то есть повторяемость ветров разных направлений. Со времени установки скульптуры перед ВДНХ прошло почти 80 лет. «Если климат в Москве, как и преобладающие ветра, изменился мало, то окружающая памятник застройка изменилась заметно и влияет на воздушные по-

**СУРГУТСКИЙ МОСТ — РЕКОРДСМЕН ПО ДЛИНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЛЕТА — 408 М, КОТОРЫЙ ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ ЕДИНСТВЕННЫМ ПИЛОНОМ**



токи», — говорит доктор географических наук Леонид Дубейковский. Даже расположенное на некотором удалении высокое здание может изменить направление ветров, преобладающих около скульптуры. Надо также учитывать, что с высотой ветер усиливается и влияет на колебания объекта. «Высота скульптуры „Рабочий и колхозница“ почти 25 м, а вместе с постаментом — 59 м. Шарфик располагается не много ближе к земле — на 50 м. По наблюдениям, проводимым на Останкинской телебашне недалеко от ВДНХ, ветер на такой высоте увеличивается почти двукратно относительно результатов измерения ветра на метеостанциях на стандартной высоте 10 м. То есть если ветер в 10 м над землей дует со скоростью 20 м/с, то вблизи шарфика его скорость может достигать 40 м/с!» — говорит Леонид Дубейковский.

При проектировании знаменитый памятник не проходил аэродинамических испытаний в ЦАГИ. Но в начале нулевых годов, после того как шарнир в запястье колхозницы потерял подвижность и опустился на 3 м, на помощь пришли ученые института. В 2003 году в связи с реставрацией скульптуру разобрали на крупные фрагменты, и испытания были проведены на модели 1:15. «Когда я попал внутрь одного из фрагментов этого памятника, то был поражен, насколько грамотно была проделана инженерная работа. Шлангоуты были прочнее, чем у космического корабля, а в районе запястья левой руки колхозницы стоял шарнир, обеспечивающий подвижность запястья», — говорит ведущий эксперт ЦАГИ в области аэродинамики зданий, архитектурных и строительных сооружений Александр Айрапетов. В аэродинамической трубе Т-1 были исследованы колебания модели скульптуры в части конструкции «рука-шарф» и выявлены несоответствия собственных частот колебания фигуры колхозницы и шарфа (1:4), что и явилось причиной очень больших нагрузок на этом участке. По итогам испытаний были даны рекомендации оснастить скульптуру механическими гасителями колебаний под воздействием силы ветров разной скорости. Принцип работы этого устройства примерно такой же, как амортизатора в автомобиле.

Но не ко всем объектам применяются одинаковые решения. Несколько лет назад инженеры ЦАГИ искали способы уменьшения колебаний меча монумента «Родина-мать» в Волгограде. В итоге меч по кромкам был прорезан тонкими каналами, выравнивающими давление по разные стороны плоскости меча, и проблема возникновения опасных колебаний решилась. Еще один пример — модель Сборной мечети на проспекте Мира в Москве. После испытаний специалисты ЦАГИ рекомендовали втрое уменьшить размеры полумесяца на куполе и заменить плоский профиль на куполе на овальный.

ЦАГИ выполняет подобные исследования транспортных объектов. Около 20 лет назад по заказу компании Bombardier Transportation GmbH на базе института исследовались аэродинамические характеристики высокоскоростного поезда второго поколения InterCity Express-2. Цель изысканий — повысить сопротивление поезда боковому ветру. Специалисты ЦАГИ выяснили значение критической скорости ветра для движения поезда, сделав упрощенную модель состава в масштабе 1:10 из локомотива и вагона (реальный поезд состоял из семи вагонов). Испытания показали, что движущийся поезд раскачивает конусообразные вихри, которые формируются на крыше.

**ТАНЦУЮЩИЕ МОСТЫ** В аэродинамических трубах ЦАГИ начиная с 1997 года проверяется устойчивость мостовых конструкций в ветровом потоке. При сильном продолжительном ветре мост колеблется с постоянной частотой и амплитудой, что весьма опасно. Инженерные решения ЦАГИ позволяют снизить риски повреждения или даже обрушения таких объектов.

Мост попадает к экспертам вначале в чертеже, затем для исследования устойчивости создается его модель (или отдельный элемент) в масштабе от 1:25 до 1:80.

Если амплитуда колебаний модели в трубе превышает допустимые значения, то находится способ ее снизить. Для этого применяются аэродинамические устройства —

обтекатели и дефлекторы, которые сокращают давление воздушных масс на конструкции моста и уменьшают динамическое воздействие потока. В 2001 году по результатам испытаний конструктивно подобной модели первого в России несимметричного однопилонного вантового автомобильного моста около Сургута на главном его пролете длиной 556 м был установлен обтекатель в форме клюва, оказавшийся очень эффективным: он снизил амплитуду колебаний моста в десять раз. Другое инженерное решение применено в Волгограде. При испытании модели «танцующего» моста через Волгу аэродинамические средства оказались недостаточно эффективными. «Поэтому инженеры-проектировщики установили настраиваемые массивные демпферы в трех 155-метровых русловых пролетах моста внутри балки проезжей части. Они не только снизили амплитуду колебаний, но и возможность их возникновения», — говорит Андрей Козичев.

**ГОРОДСКИЕ РЕШЕНИЯ** Область применения инженерных идей ЦАГИ вышла далеко за рамки точечных мер. К помощи специалистов института прибегают градостроители. Далеко не всегда городские объекты устойчивы в воздушном потоке и отвечают требованиям безопасности, что создает риск техногенной катастрофы. С тех пор как в Москве в 2005 году вступили в силу временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и комплексов, десятки архитектурно-строительных сооружений высотой больше 75 м были исследованы в ЦАГИ. Но нередко вопрос о проведении экспертизы ставится после проектирования и строительства объекта, поскольку явления аэродинамического характера и их последствия могут возникнуть не сразу после запуска объекта, а через несколько десятилетий. «Если бы архитекторы и строители были обязаны заранее обратиться в ЦАГИ, то негативных последствий в ряде случаев можно было бы избежать», — резюмирует Александр Айрапетов. ■