

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Кочев А.Г., Соколов М.М., Москаева А.С., Кочева Е.А.

*ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия (603950 Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65), e-mail: unirs@nngasu.ru, scald1966@mail.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию влияния аэродинамики на культовые сооружения. Для обеспечения в православных храмах комфортных условий, снижения теплотерь и улучшения эксплуатации ограждающих конструкций здания необходимо разрабатывать рациональные системы отопления и вентиляции. Однако в силу эстетических, технических и экономических причин устройство приточно-вытяжной механической вентиляции в помещениях православных храмов не всегда представляется возможным. Обеспечение требуемого воздухообмена в помещениях можно добиться с помощью аэрации. Она требует самых минимальных эксплуатационных затрат и является относительно недорогой при монтаже. Для грамотного расчета аэрации православных храмов необходимо знание внешних аэродинамических характеристик церквей, что будет учитываться при расчете ветровых нагрузок на сооружение.

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамическая характеристика, критическая точка, аэродинамический коэффициент, аэрационный воздухообмен.

## STUDY OF AERODYNAMICS OF RELIGIOUS BUILDINGS

Kochev A.G., Sokolov M.M., Moskaeva A.S., Kocheva E.A.

*FGBO of higher professional education Nizhny Novgorod state architecture and construction University, Nizhny Novgorod, Russia, 603950 Russia, Nizhni Novgorod, street Ilinsky, 65), e-mail: unirs@nngasu.ru, scald1966@mail.ru*

This article investigates the impact of aerodynamics on religious buildings. To ensure that in the Orthodox churches of comfortable conditions, reduce heat loss and improve the operation of the building envelope it is necessary to develop a rational system of heating and ventilation. However, due to aesthetic, technical and economic reasons the unit supply and exhaust mechanical ventilation in the premises of the Orthodox churches is not always possible. Ensuring the required air exchange in the premises can be achieved by aeration. It requires the most minimal operating costs and is relatively inexpensive when mounting. For a proper calculation of the aeration Orthodox churches requires knowledge of the external aerodynamic characteristics of churches that will be taken into account when calculating wind loads on structures.

Keywords: aerodynamics, aerodynamic characteristics, critical point, aerodynamic coefficient, the aeration air.

При проведении экспериментов по определению аэродинамической характеристики культовых сооружений, то есть распределения аэродинамических сил по наружным поверхностям церквей при действии ветра, приходилось сталкиваться с неточностью или противоречиями в использованной справочной литературе, что приводило к необходимости проведения сравнительных экспериментов или дополнительных теоретических изысканий.

Из уравнения Бернулли для установившегося режима жидкости вытекает частный случай закона сохранения энергии, то есть если кинетическая энергия вдоль струйки нарастает, то потенциальная энергия настолько же убывает, и наоборот.

Принимая за точку торможения потока (или критическую точку) при обтекании твёрдого тела горизонтальным ( $z=0$ ) потоком жидкости точку разветвления набегающей на тело струйки, то по уравнению Бернулли давление в точке торможения потока несжимаемой жидкости равно сумме статического и динамического давлений в потоке. Эту сумму называют

полным аэродинамическим давлением.

Следует отметить, что в точке торможения давление достигает максимального значения, так как по уравнению Бернулли в случае горизонтального движения  $p + \rho v^2/2 = \text{const}$ , и, следовательно, давление будет наибольшим в той точке, где скорость наименьшая; такой точкой является точка торможения, так как в ней скорость  $v=0$  [8,9].

Для расчётов пользуются не абсолютным значением давления в данной точке, а разностью между давлением в данной точке  $p_0$  и статическим давлением в потоке  $p_n$  [7, 8]. Эту разность называют избыточным давлением в данной точке. В точке торможения избыточное давление равно динамическому давлению в потоке:  $p_0 - p_n = \rho_n v_n^2/2$ .

Однако при небольших скоростях воздушного потока ввиду малого числового значения статического давления в потоке воздуха в рабочей части, для упрощения эксперимента имеет смысл принимать избыточное давление в исследуемых точках модели равным аэродинамическому, так как величина статического давления потока составляет около 1 % величины динамического давления потока [1, 5, 6, 7], что не выходит за допустимые пределы погрешностей в экспериментах.

Аэродинамический коэффициент  $c_v$ , иногда называемый коэффициентом сопротивления давления (или критерием Эйлера), является характерной величиной, определяющей степень восприятия динамического давления набегающего потока на поверхности обтекаемого потоком тела. Аэродинамические коэффициенты  $c_v$  рассчитываются по формуле [2, 3,5,7]:

$$c_v = 2p_i / (\rho v_0^2),$$

где  $p_i$  – избыточное давление в исследуемых точках, Па;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v_0$  – скорость воздуха в рабочей части аэродинамической трубы, м/с.

Таким образом, аэродинамический коэффициент определяет долю скоростного давления, которая переходит в избыточное давление [1, 7]. Приведённое выражение является основным для оценки аэродинамических характеристик зданий.

Аэродинамический коэффициент может быть величиной как положительной, так и отрицательной [4]. Из закона сохранения энергии ясно, что величина аэродинамического коэффициента не может быть больше  $\pm 1$ . Однако если не подвергать сомнению выводы в [9], то «значения отрицательных величин аэродинамических коэффициентов может быть и больше единицы, так как местное увеличение скорости отдельных струек воздуха, вызванное общим сужением потока, может превышать общую скорость потока  $v_0$ ». Величина аэродинамического коэффициента имеет положительное значение для поверхностей, расположенных на наветренной стороне зданий, а для поверхностей с заветренной стороны при обтека-

нии ветра, этот коэффициент имеет отрицательное значение  $c_v > -3$  [1, 5].

Не вдаваясь в подробности объяснений этого факта авторами указанных выше источников, можно с высокой степенью достоверности сделать вывод, что закон сохранения энергии позволяет оперировать значением величины аэродинамического коэффициента за пределами  $\pm 1$ .

На основе изложенных данных можно утверждать, что допускается при расчёте аэродинамического коэффициента применять значения как избыточных, так и абсолютных аэродинамических давлений.

Полученные данные используются для расчёта аэрационного воздухообмена в церквях при совместном действии гравитационных сил и ветровой нагрузки, справедливы для церквей с соотношением основных размеров четверика (высота, длина, ширина)  $H:L:B=1:1,67:1,73$ , у которых центральный барабан купола имеет форму правильного восьмигранника с соотношением размеров  $H:R_{\text{впис.}}=1:1,36$ , а барабаны малых куполов (фальшбарабаны) имеют такую же форму с соотношением размеров  $H:R_{\text{впис.}}=1:0,83$ .

В качестве примера определения аэродинамических коэффициентов можно рассмотреть испытания Крестовоздвиженского собора на площади Лядова города Нижнего Новгорода, проект которого разработал губернский архитектор И.И. Межецкий. В плане собор представляет собой равноконечный крест  $35 \times 35 \text{ м}$  ( $L \times B$ ) с четырьмя внутренними пилонами, поддерживающими центральный купол, и с четырьмя малыми главами над приделами.

В Крестовоздвиженском соборе стоит отметить наличие «глухих» малых барабанов, не соединенных с приделами и молельным залом (фальшбарабаны). Это делает невозможным осуществление через них аэрационного воздухообмена. Только центральный барабан соединен с объёмом молельного зала.

В Крестовоздвиженском соборе были проведены исследования с замерами данных в 24 характерных точках, из которых 16 приточных отверстий, расположенных в нижней части православного храма (2 на западе, 6 на юге, 6 на востоке, 2 на севере), 8 являются вытяжными отверстиями, расположенными в верхней части каждого оконного проема центрального барабана.

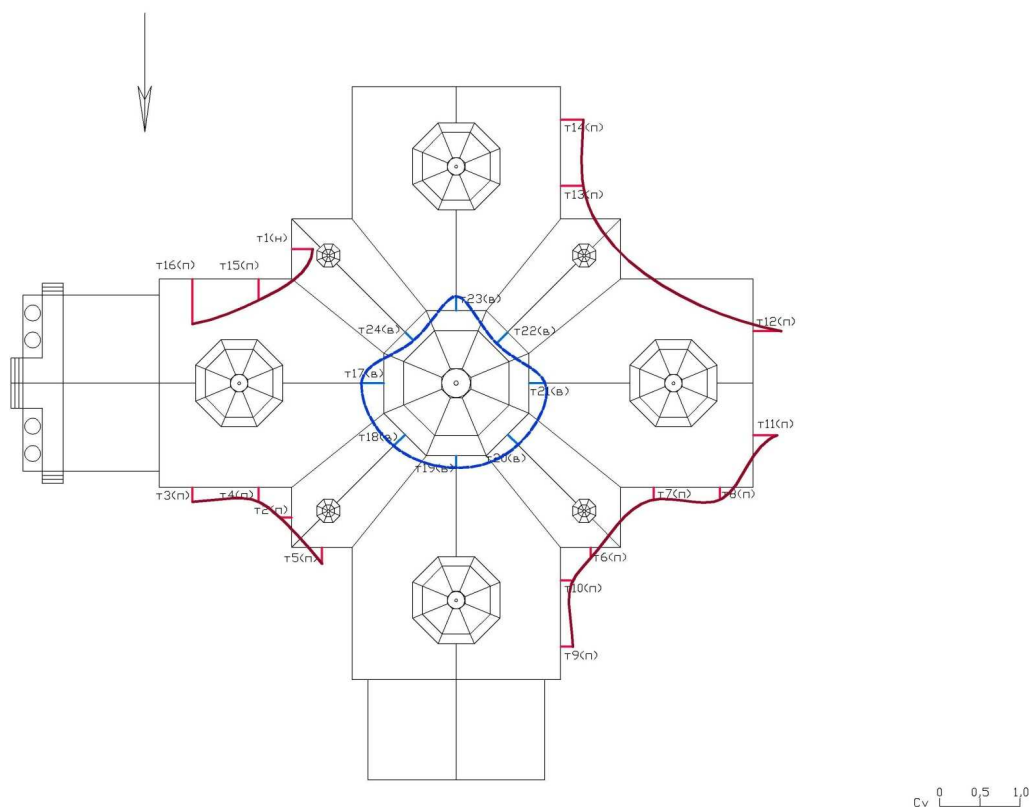
В результате исследований были замечены интересные особенности изменения значений аэродинамических коэффициентов при различных направлениях ветра.

При северном, западном, восточном и южном направлениях на пути ветрового потока всегда располагался фальшбарабан, который оказывал влияние на значение аэродинамических коэффициентов у центрального барабана храма. Поэтому положительные значения аэродинамических коэффициентов проявлялись только, например, при испытании для север-

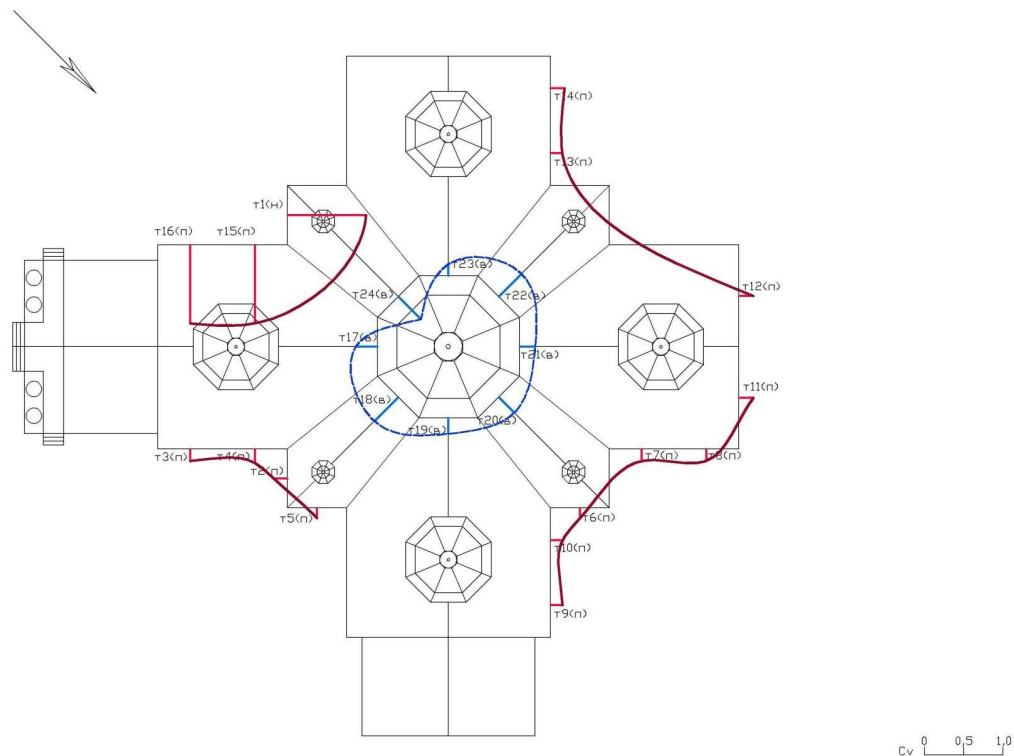
ного направления ветра для северо-восточной и северо-западной точек (соответственно точки 22 и 24 рис. 1).

При испытании при северо-западном, северо-восточном, юго-западном и юго-восточном направлении ветра положительные значения аэродинамические коэффициенты принимали только в направлении движения потока, то есть для северо-западного направления движения ветра это северо-западная точка барабана храма (точка 24 рис. 2).

Проведенные исследования позволяют более точно рассчитать площади приточных и вытяжных фрагуг в православных храмах, что обеспечит создание требуемых метеорологических условий в храмах и обеспечит сохранность этих памятников истории и архитектуры.



*Рис. 1. Крестовоздвиженский храм. Значения аэродинамических коэффициентов при северном направлении ветра*



*Рис. 2. Крестовоздвиженский храм. Значения аэродинамических коэффициентов при северо-западном направлении ветра*

### Список литературы

1. АВОК Стандарт–2–2004. Храмы православные. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2004-06-09. – М. : АВОК, 2004. – 14 с : ил.
2. Кочев, А. Г. Анализ полей аэродинамических коэффициентов православных храмов Нижнего Новгорода / М.М. Соколов, А.С. Сергиенко, Е.А. Кочева // Приволжский научный журнал. – Н.Новгород, ННГАСУ, 2014. – № 4. – С.146–151.
3. Кочев, А. Г. Расчет воздухообменов для осушки конструкций и аэрации в культовых зданиях / А. Г. Кочев, О. В. Федорова, М. М. Соколов // Известия вузов. Сер. «Строительство». – 2013. – № 2-3. – С. 60-67.
4. Кочев, А. Г. Теоретические и экспериментальные исследования влияния внешних аэродинамических характеристик на параметры микроклимата в православных Храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород, 2011. – №1 (17). – С. 58-65.
5. Кочев, А. Г. Физико-математическое описание естественной конвекции в помещениях православных храмов / А. Г. Кочев, М. М. Соколов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород, 2012. – № 2. – С. 78-85.

6. Максимов, Г.А. Отопление и вентиляция Часть II. Вентиляция. – М.: Высшая школа, 1968. – 464 с. с ил.
7. Реттер, Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с. с ил.
8. Реттер, Э.И. Аэродинамика зданий / С.И. Стриженов. – М.: Стройиздат, 1968. – 240 с. с ил.
9. Фабрикант, Н. Я. Аэродинамика. Общий курс. – М., 1964. – 816 с. с ил.

**Рецензенты:**

Гагарин В.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой отопления и вентиляции НИУ МГСУ, г. Москва.

Хаванов П.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплотехники и теплогазоснабжения НИУ МГСУ, г. Москва.