

УДК 693.5:536.24+532.51

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ПОВЕРХНОСТЬ МОДЕЛЕЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

*Кошин А.А., Гныря А.И.*

*Томский Государственный Архитектурно-строительный Университет, г. Томск*

Современное строительство в совокупности с новейшими технологиями возведения и эксплуатации зданий несет в себе ряд новых требований, направленных на повышение эффективности использования, как строительных материалов и конструкций, так и увеличение энергетической эффективности. Обеспечение экономии топливно-энергетических ресурсов в настоящее время достигается путем использования теплоизоляционных материалов, применением замкнутых вентиляционных и модернизацией отопительных систем.

Однако в области проектирования ограждающих конструкций, как основного источника теплопотерь в здании, наблюдаются некоторые недостатки [1, 2]. Не принимается во внимание и местоположение здания. Отдельно стоящее ли оно или находится в массиве. В связи с ростом проектирования высотных зданий, необходимо учитывать этажность и, соответственно, высоту, на которой находится проектируемая ограждающая конструкция. Это напрямую связано с ростом ветровой нагрузки на поверхность наружных стен [3, 4].

Одним из способов исследования теплопотерь в зданиях в научном сообществе был принят метод масштабного моделирования. В современной научной литературе опубликовано множество работ, посвященных исследованию теплообмена моделей плохообтекаемых тел [5]. Проводились рассмотрения, как одиночных моделей, так и их массивов. Однако практически не учитывалось влияние ветрового давления на поверхность исследуемых моделей и влияние его на теплопередачу.

В области исследования ветрового давления на поверхность моделей зданий так же заметен значительный прогресс. Тем не менее, большинство исследований было направлено на исследование ветровых нагрузок и совершенствование методик расчета несущих конструкций и проектирование вентиляционных систем. Коэффициент давления, как фактор изменения теплообмена здания с окружающей средой, почти не исследовался.

Таким образом, учитывая несовершенство методики расчета ограждающих конструкций, предложенных в [1 и 2] можно сформулировать следующие научные проблемы, требующие комплексного подхода в их решении:

1. Задать экспериментальные условия, в которых будут проводиться исследования и которым должны соответствовать методики моделирования и расчетов.

2. В заданных условиях провести экспериментальные исследования давления от набегающего потока воздуха на поверхность ограждающей конструкции модели высотного здания при одиночном и групповом (тандем, тройка, пятерка и т.д.) ее расположении.

Для определения коэффициентов давления был использован метод физического моделирования. Ключевой комплекс экспериментов был проведен на основе теории подобия.

При этом соблюдались следующие требования:

1. Геометрическое подобие модели и конструкции туннеля;
2. Подобие условий на поверхности взаимодействия модели и конструкции туннеля с окружающей средой (граничных условий);

### 3. Равенство основных критериев подобия.

Высотные здания представляют собой плохообтекаемые тела и имеют разные формы, не редко встречаются и в виде квадратных призм. В связи с этим были выбраны модели зданий с соотношением сторон  $a / b = 1 : 3; 1 : 6$ . Модели представляли собой квадратные призмы высотой  $H = 150$  и  $300$  мм. Выбор формы сечения и определяющего размера моделей при определенной их ориентации к потоку воздуха и определенном местоположении позволяет распространить экспериментальные данные по давлению на широкий круг не только зданий, но и на многих других конструкций подобной формы.

Измерения полей статического давления и исследование структуры движения воздушного потока производились в специальном аэродинамическом стенде. Стенд (рис. 1) состоит из следующих узлов: аэродинамической трубы; дифференциального многоканального микроманометра, созданного для регистрации изменения коэффициента по образующей модели; исследуемых моделей.



Рис. 1. Аэродинамический стенд.

Аэродинамическая труба описываемого стенда представляет собой трубу разомкнутого типа, работающую на всасывание (рис. 2). Диапазон скоростей в рабочей камере составляет  $1 - 15$  м/с с интенсивностью турбулентного потока  $Tu = 0.5 \%$ .

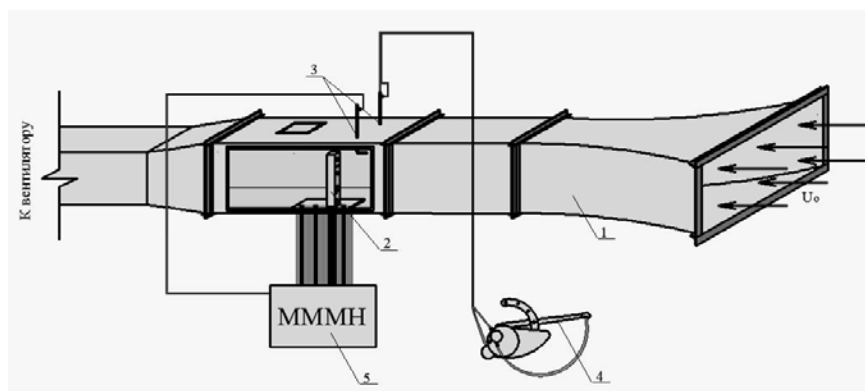


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки для измерения полей статического давления. 1 – аэродинамическая труба; 2 – испытываемая модель; 3 – трубка Пито – Прандтля; 4 – микроманометр ММН-2400; 5 – дифференциальный многоканальный микроманометр МММН.

Поперечное сечение входного сопла имеет форму прямоугольника. Размер входного сечения 1040 x 440 мм. Размер выходного сечения 300 x 300 мм. Длина сопла 1000 мм. Внутренняя образующая выполнена по лемнискате. Такая форма образующей обеспечивает минимальные возмущения засасывающего в трубу воздушного потока. Сопло выполнено из дюрала Д – 16, его внутренняя поверхность отполирована.

Рабочая камера представляет собой канал длиной 1050 мм и сечением 400 x 400 мм. На одной из боковых стенок предусмотрены два окна выполненные из органического стекла, одно располагается на одной из боковых стенок для монтажа моделей, второе предназначено для визуального наблюдения расположенное непосредственно над моделью. Корпус камеры стальной.

Измерительные приборы вводятся в рабочую камеру через проем, расположенный в нижней стенке канала. Проем в свою очередь уплотняется с помощью фторопластовой ленты. Отводные трубы соединены с осевым вентилятором марки ВО – 5 У2 (мощность 7,5 кВт, напряжение 380 В, сила тока 15 А, частота 3000 об/мин). Изменение скорости потока осуществляется вентиляционной шиберной заслонкой, расположенной за пределами рабочего участка, что практически не сказывалось на равномерности аэродинамических параметров по сечению рабочего канала в месте установки модели.

Воздух в аэродинамическую трубу подавался из окружающей среды через лабораторное помещение, которое располагается в подвале здания, поэтому температура его в процессе эксперимента достаточно стабильная, и в зависимости от времени года лежала в диапазоне от + 9 до + 22 °С.

Для изменения перепада давления был изготовлен дифференциальный многоканальный микроманометр с ценой деления 1 мм водяного столба (рис. 3).

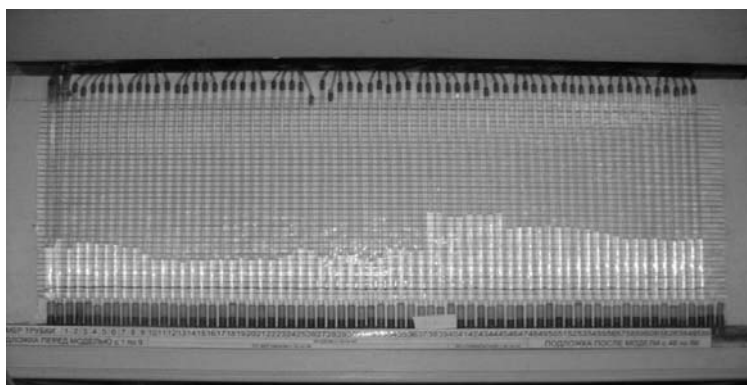


Рис. 3. Дифференциальный многоканальный микроманометр.

Калибровка прибора и проверка его точности проводилась методом сравнения измерений с эталонными данными, полученными из научной литературы [6, 7]. Для этого была изготовлена модель в форме куба размерами 50x50x50 мм. Измерения проводились при угле атаки набегающего потока воздуха 90° и 45°. Результаты представлены на рис. 4.

Как видно из графика, тенденция распределения совпадает с эталонными данными. Разность показаний на боковой поверхности «В» объясняются различными условиями моделирования, скоростями ветрового потока и масштабом моделей. Отсюда можно сделать вывод, что измерения проводились верно.

В связи с тем, что область изучения достаточно велика, для проведения основного комплекса экспериментов, прежде всего, требовалось задаться рамками исследований. Предметом исследования в данной работе послужил тандем из двух призм.

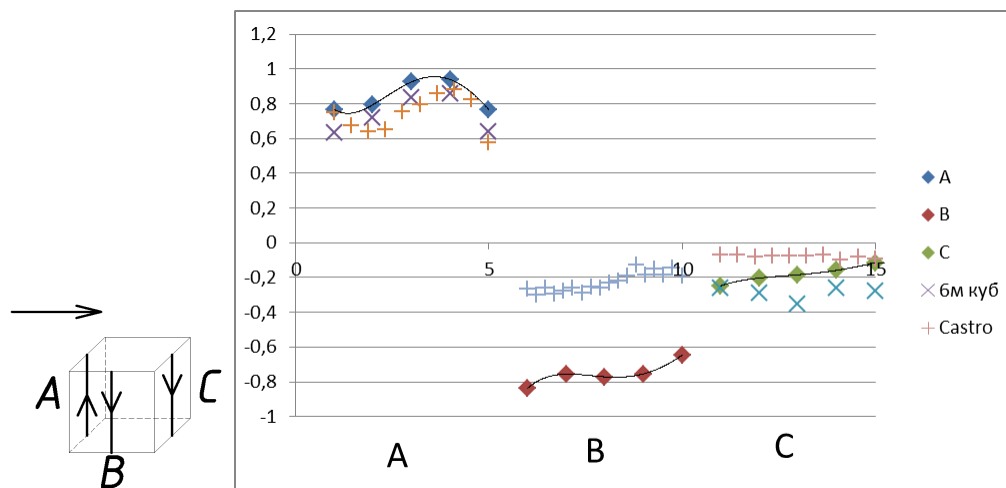


Рис. 4. График распределения коэффициента давления  $C_p$  по поверхности куба. А, В и С – рассматриваемые грани куба. Цена деления – 10 мм. Для эталонных данных – безразмерная.

Данная конфигурация была принята, как наиболее часто встречающаяся в строительной практике. Если рассматривать отдельное здание, то подобную конфигурацию мы можем наблюдать, рассматривая две колонны, расположенные поблизости друг от друга. В условиях городской застройки подобное расположение можно увидеть, рассмотрев два высотных здания, расположенных друг от друга на незначительном удалении.

Первым этапом на пути исследования аэродинамических характеристик воздушного потока вблизи тандема призм послужило проведение сажемасляной визуализации. Модели для выполнения данной части экспериментов были выполнены из органического стекла, толщиной 3 мм. Тандемы призм выполнялись высотой 300 и 150 мм, согласно заданным высотам. Калибрами для модели 300 мм  $L/H=1; 0,5; 0,25$  и 0 и для моделей 150 мм  $L/H=2; 1,5; 1; 0,5; 0,25$  и 0. При углах атаки набегающего потока воздуха  $90^\circ$  и  $45^\circ$

Для основного комплекса экспериментов по изучению давления от набегающего потока воздуха были собраны три модели.

Первая модель предназначена для изучения пограничного слоя воздушного потока в рабочей камере и представляет собой плоское основание из органического стекла толщиной 5 мм в котором просверлены 30 отверстий диаметром 0,8 мм для отбора динамического давления. На основание устанавливаются две призмы-препятствия для формирования исследуемых турбулентных течений.

Вторая модель выполнена в виде призмы из органического стекла толщиной 5 мм высотой 300 мм, на одной из боковых граней которой выполнено 42 отверстия диаметром 0,8 мм для отбора динамического давления в потоке воздуха. Призма установлена на восьмигранную подложку из того же материала. Минимальный размер подложки составляет 350 мм, что позволяет избежать значительных возмущений в воздушном потоке вблизи модели и исключить наличие дополнительных стабилизаторов потока.

Третья модель, так же как и вторая, выполнена в виде призмы, но имеет высоту 150 мм и 21 отверстие на одной из боковых граней.

Так же в дополнение к вышеперечисленным моделям выполнены призмы-препятствия: две высотой 300 мм и две высотой 150 мм. Они выполняют вспомогательную функцию, позволяя исследовать модели в тандеме.

В результате экспериментов получены распределения коэффициента давления по всем граням тандема призм. Исследована динамика воздушного потока в пограничном слое. Результаты некоторых измерений представлены на рис. 5 и 6.

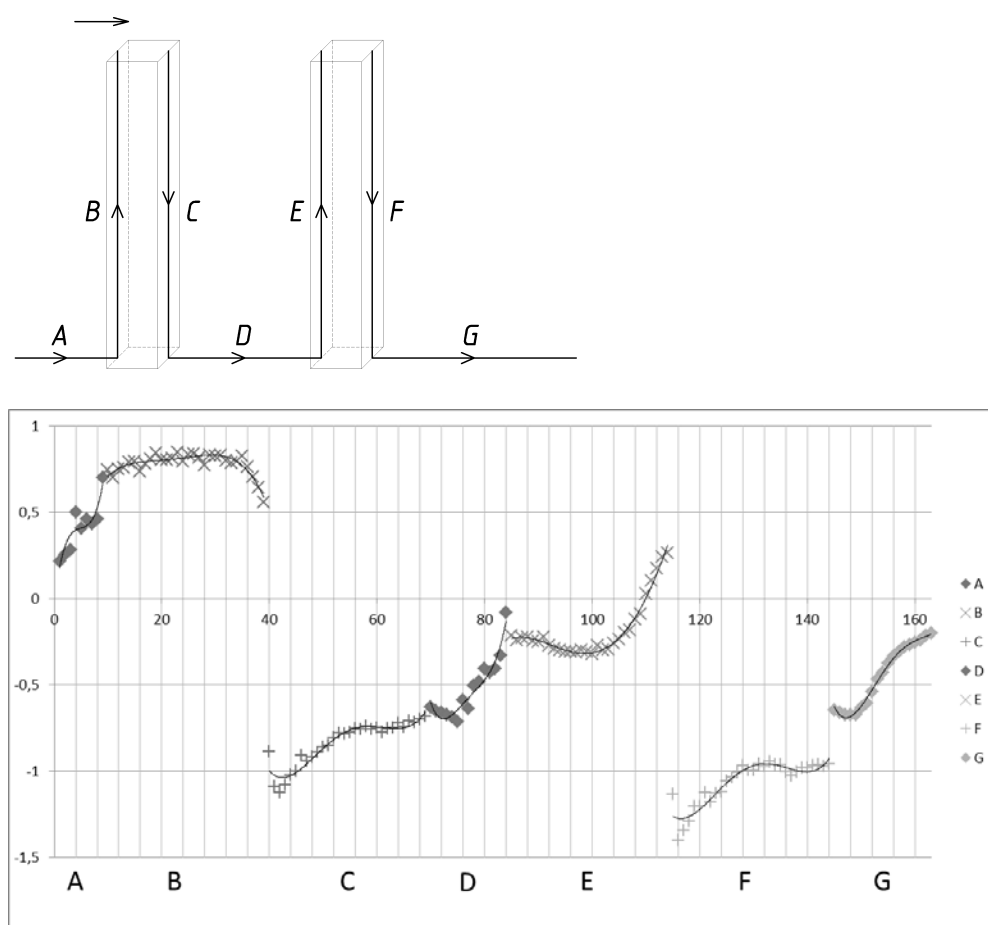


Рис. 5. Динамика изменения коэффициента давления в тандеме моделей призм высотой 300 мм, сечением 50x50 мм. Калибр (отношение высоты к просвету между моделями) – 0,5. Цена деления – 10 мм. Скорость воздушного потока – 14 м/с.

В результате исследований стало известно, что при калибре 0,5 и с его уменьшением на грани «Е» начинается значительное падение давления. Следовательно, из полученных графиков видно, что вторая модель тандема полностью находится в разреженной зоне. Взаимное влияние очевидно.

Следующим этапом в рамках данной научной работы будет выполнение расчета интегрального значения коэффициента давления по каждой модели и представление подробного отчета о проведенных исследованиях.

Данная работа является одной из ветвей исследований по проекту РФФИ № 09-08-00523-а. С общим отчетом по данному проекту можно ознакомиться в [8]. Перспективный план дальнейших исследований включает: изучение локальной и средней теплоотдачи моделей той же конфигурации, получение зависимости между коэффициентом теплоотдачи и давления. Создание и работа на аэродинамическом стенде для исследования массивов моделей зданий.

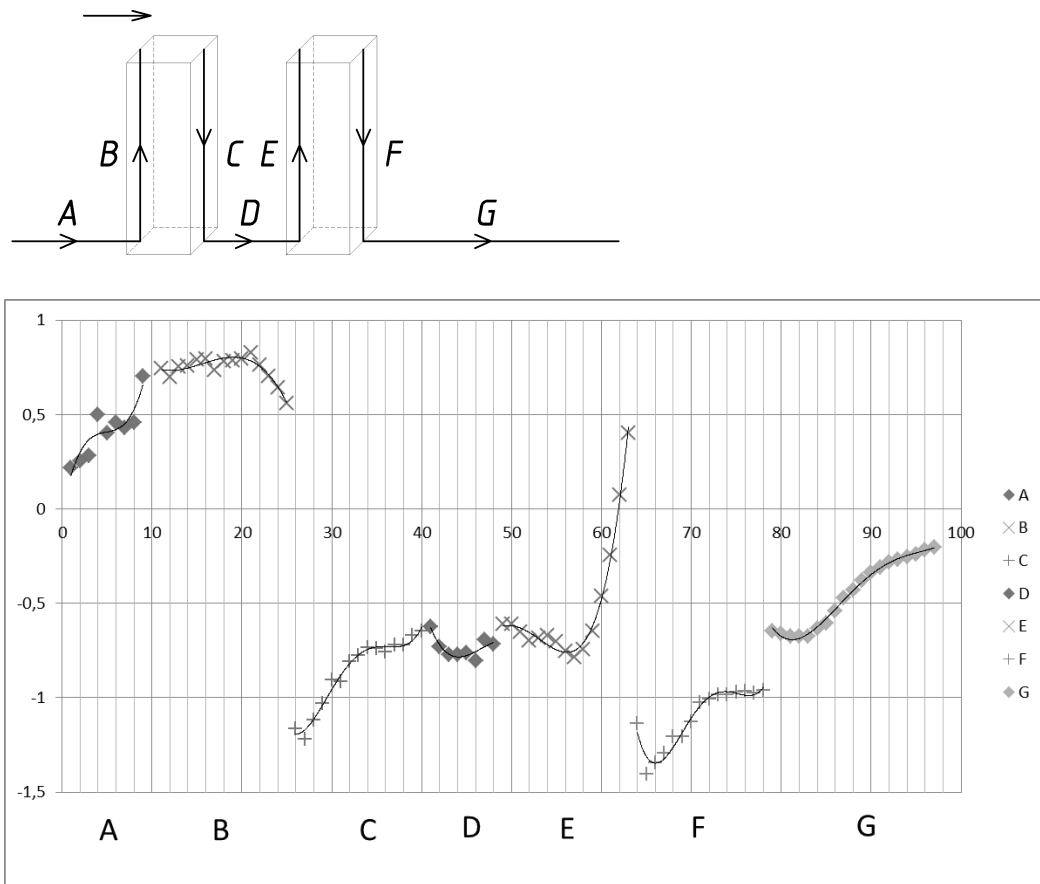


Рис. 6. Динамика изменения коэффициента давления в тандеме моделей призм высотой 150 мм, сечением 50х50 мм. Калибр (отношение высоты к просвету между моделями) – 0,5. Цена деления – 10 мм. Скорость воздушного потока – 14 м/с.

### Литература

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. — М.: Госстрой России, 2004.
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. — М.: Госстрой России, 2004.
3. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. — М.: Госстрой России, 2003.
4. Серебровский Ф. Л. Аэрация жилой застройки. М., 1971.
5. А.А. Кошин, С.В. Коробков, А.И. Гныря. Анализ существующих материалов по конвективному теплообмену плохообтекаемых тел // Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: труды VII Международной конференции студентов и молодых учёных. Россия, Томск, 20–23 апреля 2010 г. / под ред. Г.В. Ляминой, Е.А. Вайтулевич. – Томский политехнический университет, 2010. – С.612-614.
6. I.P. Castro, A.G. Robins. The flow around a surface-mounted cube in uniform and turbulent streams. — J. Fluid Mech. (1977), vol. 79, part 2, pp. 307-335.
7. P.J. Richards, R.P. Hoxey, B.D. Connell, D.P. Lander. Wind-tunnel modeling of the Silsoe Cube. — Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95 (2007) 1384–1399
8. А.И. Гныря, С.В. Коробков, А.А. Кошин, Д.И. Мокшин, В.И. Терехов. Комплексные экспериментальные исследования аэродинамики и теплообмена моделей зданий и сооружений. Отчет о выполнении проекта РФФИ № 09-08-00523-а // Вестник ТГА-СУ. – 2011. – №4. – С. 113-126.