ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЛИБРОВ МЕЖДУ ПЛОХООБТЕКАЕМЫМИ ТЕЛАМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ В ГРУППЕ, НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА, С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Коробков С.В.², Дёгин А.Г.², Сокол М.Н.², Гныря А.И.², Терехов В.И.¹, Файсканов Т.М.²

¹Институт теплофизики им. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск ²Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

Были проведены комплексные экспериментальные исследования внешней аэродинамики и теплообмена группы из 3 моделей зданий в условиях интерференции воздушных потоков, моделирующих реальную застройку микрорайонов различной этажности.

Предметом исследований являлись аэродинамика и конвективный теплообмен наружной поверхности оболочки здания в зависимости от его формы, скорости и угла атаки воздушного потока, местоположения его в группе подобных зданий, а также величины аэродинамической нагрузки на ограждающие конструкции.

Исследования решают круг важных проблем архитектурной аэродинамики и классической строительной теплофизики. Изучались процессы теплообмена и аэродинамического сопротивления, структуры отрывных потоков для группы из 3 моделей зданий в виде квадратных призм, а также их характерные особенности при вариации их высоты 90 и 150 мм (соответственно относительная высота H/a = 3; 5) и местоположения относительно друг друга (поперечное смещение L1/a = 1, 2, 3; продольное смещение L2/a = 2; 6; 10).

Серии экспериментов проводились на аэродинамической трубе разомкнутого типа, установленной в лаборатории кафедры ТСП ТГАСУ, общий вид которой представлен на (рис. 1). Поперечное сечение рабочего канала аэродинамической трубы составляет 300×210(h) мм и его длина 900 мм. Методика проведения эксперимента исследований представлена в [1]. Максимальная скорость воздушного потока составляла 35 м/с, а максимальное число Рейнольдса, рассчитанное по размеру грани призмы, Re = $U_0 \cdot a/v = 7 \times 10^4$. Изменение скорости потока воздуха осуществлялось системой регулирования оборотов при помощи частотного преобразователя.

Эксперименты проводились при различных местоположениях моделей друг относительно друга по следующим принципам: две модели (препятствия) располагались выше по потоку и создавали турбулентные отрывные течения, которые оказывали влияние на аэродинамическую структуру у третей исследуемой модели, расположенной ниже по потоку (рис. 2). Теплообмен измерялся только у позади стоящей модели «2» (тепловая модель). Две впередистоящие модели «1» не нагревались.

При размере призмы $30 \times 30 \times 90$ мм и нулевом угле атаки $\phi = 0^{\circ}$ увеличение скорости за счет поджатия потока составляет $\approx 4,28$ %. При наиболее неблагоприятных условиях ($\phi = 45^{\circ}$) ускорение потока возрастает до $\approx 6,05$ %. При размере призмы $30 \times 30 \times 150$ мм и $\phi = 0^{\circ}$ увеличение скорости за счет поджатия потока составляет $\approx 7,14$ %, а при $\phi = 45^{\circ}$ ускорение потока возрастает до $\approx 10,1$ %. Эта величина является достаточно ощутимой, поэтому увеличение размеров модели более 150 мм является нежелательным.



Рис. 1. Общий вид рабочей камеры аэродинамической трубы



Рис. 2. Схема расположения исследуемой тепловой модели «2» относительно моделейпрепятствий «1»: *a*) - общий вид экспериментальной модели; δ) – вертикальные и горизонтальные сечения; *в*) – схема расположения моделей при поперечном смещении L1/a и продольном смещении L2/a, угол $\varphi=0^\circ$; г) – схема расположения моделей при поперечном смещении L1/aи продольном смещении L2/a, угол $\varphi=45^\circ$.

Измерение температуры тепловой модели «2» осуществлялось при помощи ХК-термопар диаметром 0,5 мм, зачеканенных на одной из граней моделей (рис. 3). Термопары расположены в горизонтальных и вертикальных сечениях. Количество термодатчиков на измерительной грани тепловой модели составило: H/a = 3 - 13 шт.; H/a = 5 - 19 шт.

Каркасы тепловых моделей «2» выполнены из текстолита толщиной 5 мм. В качестве проволочного омического нагревателя принята нихромовая проволока поперечным сечением 0,3 мм². Для равномерного прогрева моделей шаг витков составил 2,0 мм. В качестве электроизолятора использовалась стеклолента толщиной 1,0 мм. Для

выравнивания теплового потока поверх нагревателя устанавливались медные пластины толщиной 1,0 мм. Для равномерной передачи тепла от медной пластины к наружной наклеивался тонкий слой стеклоленты толщиной 1,0 мм. Наружные грани выполнены из нержавеющей стали толщиной 1,0 мм. Для уменьшения перетечек тепла измеряемая грань была разделена на фрагменты, изолированные в плоскости друг от друга «полосками», выполненными из паронита.



Рис. 3. Схемы размещения термопар на измерительной грани моделей с относительной высотой: a) - H/a = 1; b) - H/a = 3; b) - H/a = 5.

Исследуемые модели призмы помещались в рабочую камеру аэродинамической трубы, далее подключались нагревательные элементы в электрическую цепь и поддерживалась заданная температура поверхности (так, чтобы максимальный прогрев стенки относительно потока не превышал 40-50 градусов). В аэродинамической трубе устанавливался необходимый гидродинамический режим воздушного потока и задавался необходимый угол атаки взаимодействия модели с окружающей средой. В течение часа модель выводилась на заданный тепловой режим.

После определения температуры стенки и введения необходимых поправок, подсчитывались локальные значения коэффициента теплоотдачи по формуле:

$$\alpha = q_w / (T_{wi} - T_o), \tag{1}$$

$$q_w = q_{\mathfrak{I}\mathfrak{I}} - q_{nom} \tag{2}$$

где, T_{wi} – температура в *i*– ой точке поверхности, T_o – температура воздушного потока, q_w – удельный тепловой поток, $q_{3\pi}$ – суммарная плотность теплового потока, подводимого электрическим нагревателем, q_{nom} – тепловые потери за счет излучения, свободной конвекции и теплопроводности.

Средний коэффициент теплоотдачи по каждой грани призмы находился осреднением локальных величин, измеренных по горизонтальной и вертикальной осям грани. Среднее число Нуссельта определялось по каждой грани как

$$\overline{Nu} = \overline{\alpha} \cdot a \,/\,\lambda\,,\tag{3}$$

а по всей поверхности призмы

$$Nu = \alpha \cdot a \,/\,\lambda \tag{4}$$

где $\overline{\alpha}$ и $\overline{\overline{\alpha}}$ – средние коэффициенты теплоотдачи по отдельной грани и по всей призме соответственно, Bt/(м²×°C); а –поперечный размер призмы, м; λ – коэффициент теплопроводности, Bt/(м×°C).

На (рис. 4) представлены графики зависимости среднего по всей поверхности модели «2» числа Нуссельта от относительной высоты моделей H/a=3 и 5 в зависимости от ее расположения при $\phi=0^{\circ}$ и 45°.



Рис. 4. Графики зависимости среднего по всей поверхности модели «2» числа Нуссельта от относительной высоты моделей H/a=3 и 5 в зависимости от ее расположения при $\phi=0^{\circ}$ и 45° (Re =7×10⁴).

Из (рис. 4) видно, что при смещении впередистоящих моделей «1» на расстояние L2/a наблюдается интенсификация интегрального теплообмена от всей поверхности второй призмы:

1. Выявлено, что при изменении поперечного расстояния L1/a между впереди стоящими моделями «1» максимальный теплообмен модели «2» достигается при $\varphi = 0^{\circ}$ на калибре L1/a = 1, а при $\varphi = 45^{\circ}$ на -L1/a = 2,0.

2. Установлено, что интенсивность теплообмена модели «2» увеличивается по мере увеличения относительной высоты призмы. Средний коэффициент теплоотдачи от всей модели здания увеличивается при изменении угла атаки воздушного потока с $\varphi = 45^{\circ}$ на $\varphi = 0^{\circ}$ и при увеличении высоты модели *H/a* от 3 до 5.

3. Смещение моделей в продольном направлении (L2/a) также приводит к неравномерному изменению интегральной теплоотдачи модели «2» с максимумом при L2/a = 6,0 и постепенным снижением взаимного влияния при $L2/a \ge 10,0$.

Минимальное же смещение на $L^{2/a}$ от 2,0 до 6,0 приводит к увеличению значений интегрального теплообмена от всей поверхности позади стоящей призмы «2» в группе из трёх моделей при всех расстояниях между впереди стоящими моделями $L^{1/a}$. Механизм изменения теплообмена при увеличении расстояния между призмами L2/a, как свидетельствуют визуализационные картины наблюдения, объясняется тем, что позади стоящая модель выходит из аэродинамического следа впереди стоящей модели, снижается воздействие отрывных течений и вихреобразования, что приводит к увеличению значений коэффициентов теплообмена, при этом картина обтекания приближается к отдельно стоящей призме.

Полученные результаты следует квалифицировать как новый вклад в базу данных о теплообмене плохообтекаемых тел. Выяснение же более тонких механизмов турбулентного тепломассопереноса при обтекании турбулентным потоком требует постановки более глубоких и детальных исследований.

Литература

1. В.И. Терехов, А.И. Гныря, С.В. Коробков. Вихревая картина турбулентного обтекания и теплообмен одиночного куба на плоской поверхности при различных углах атаки // Теплофизика и аэромеханика.– 2010, т.17, №4.– С. 521–533.