

УДК.693.5:536.24+532.51

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ТЕПЛООБМЕН ТАНДЕМА МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ ПРИ МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ НИМИ И ВАРИАЦИИ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ

Гныря А.И.¹, Коробков С.В.¹, Мокшин Д.И.¹, Кошин А.А.¹, Терехов В.И.²

¹*Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск*

²*Институт теплофизики Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск*

Энергоресурсосбережение является одной из наиболее серьезных задач XXI века. Требуемые для развития энергоресурсы можно получить не только за счет увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов, но и уменьшением затрат за счёт энергосбережения. Одним из актуальных направлений энергосбережения является разработка норм теплотребления производственными и жилыми зданиями и сооружениями.

В настоящее время разработанные нормы [1–3] не учитывают размещение здания (ландшафтные особенности, присутствие соседних зданий и т.д.), особенности климата (реальную температуру окружающего воздуха, направление ветра, влияние солнечного излучения и т.д.), особенности изменения температуры в течение суток.

Поэтому целью экспериментальных исследований таких, например как [4–8] является получение закономерностей процессов турбулентного переноса от изделий прямоугольной формы, которые моделируют отдельно стоящие здания, или же группы сооружений, взаимно влияющих друг на друга. Наиболее простой ситуацией является тандем зданий, но и в этом случае возможен большой вариант условий их расположения относительно друг друга, а также по отношению к направлению ветра. В имеющихся экспериментально-теоретических работах данного направления [4–8] решен ряд частных задач, который не в состоянии описать весь спектр возможных воздействий отрывных потоков, формируемыми различными гранями. Конечной целью подобных исследований является разработка технически обоснованных норм на тепловые потери через ограждающие конструкции. Для этого необходимо было создать физические модели зданий и сооружений и провести ряд экспериментов в аэродинамических трубах. Методика проведения экспериментов и обработки результатов измерений представлены в работах [9, 10].

Основным предметом исследования в данном разделе является опытное изучение среднего коэффициента теплоотдачи ряда двух моделей зданий и сооружений призматической формы, при изменении расстояния между ними в поперечном направлении относительно направления движения воздушного потока $L2/a$ (рис. 1).

Для этого было проведено два типа исследований:

1. Исследование структуры течения воздушного потока с помощью сажемазляной визуализации [11]. В ходе экспериментов все грани двух призм, в том числе и верхние поверхности, а также подложка, на которой устанавливались модели, покрывались тонким ровным слоем раствора черного цвета, полученного путем смешивания типографической краски и керосина.

Затем исследуемая модель помещалась в рабочую камеру аэродинамической трубы. Эксперимент продолжался до тех пор, пока не появилось четко видимая характерная картина обтекания модели потоком воздуха. После этого модель извлекалась из трубы и интересующие фрагменты визуализационных картин фотографировались (рис. 2).

2. Исследование интегрального теплообмена осуществлялось при помощи термопар типа (ХК) и АЦП. Для этого в опытах использовались так же две идентичные модели сечением 50×50 мм, и высотой 300 мм: передняя была без нагрева, позади нее – с нагревом. Все эксперименты проводились при одном числе Рейнольдса $Re = 4,25 \cdot 10^4$ и угле атаки воздушного потока $\varphi = 0^\circ$. Эксперимент продолжался до тех пор пока температура стенки модели не была $q_{cm} = const$.

Серия экспериментов по исследованию теплообмена проводились при следующих расстояниях между моделями: $L2/a = 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$. и $L1/a = 0,5$. И их количество составило 20 шт.

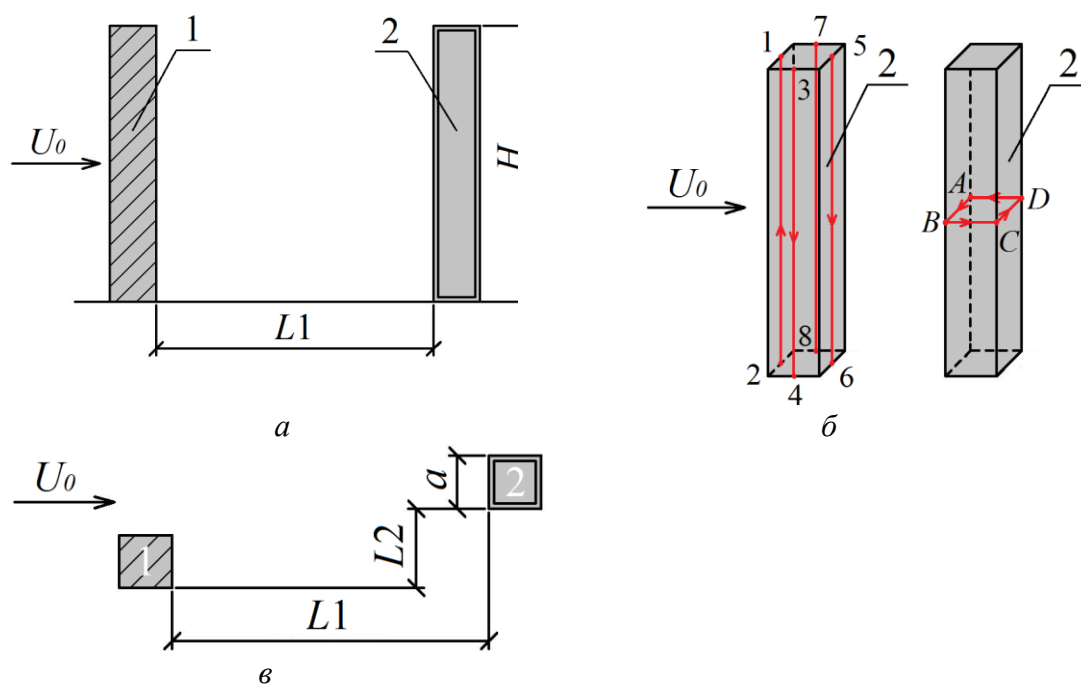


Рис. 1. Схема расположения исследуемой модели 2 относительно модели 1: а – Общий вид экспериментальной модели; б – Вертикальные и горизонтальные сечения; в – Схема расположения моделей при поперечном смещении $L2$.

Определяющим параметром в данном исследовании является смещение от продольной оси канала ($L2/a$) (рис. 1).

Наиболее выраженное изменение структуры течения воздушного потока происходят при расстоянии между моделями $L1/a = 0,5 \div 1,0$ и смещении $L2/a = 0,5 \div 1,0$ (рис. 2).

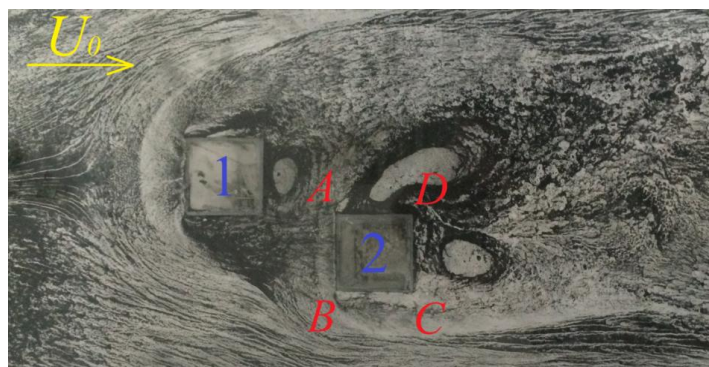


Рис.2. Визуализация течения воздуха вблизи тандема квадратных призм при поперечном смещении $L2/a = 1,0, L1/a = 1,0, \varphi = 0^\circ$.

При расстояниях между моделями $L1/a = 1,0$ и $L2/a = 1,0$ (рис. 2), на грани (D–A) модели 2 наблюдается сильное вихревое течение, которое образуется путем срыва воздушного потока с ребра A модели 2 и под воздействием прижимающего течения от ребра D модели 1.

Очевидно, что структура сложных отрывных течений будет непосредственно сказываться на характере изменения средней теплоотдачи. Одной из основных особенностей является наличие вихревых зон между призмами 1 и 2.

Характер изменения среднего по граням теплообмена модели в зависимости от ее смещения на $L2/a = 0 \div 2$ при угле атаки воздушного потока $\varphi = 0^\circ$ показаны на рис. 3. Для сравнения на этих рисунках представлены данные для $L2/a \rightarrow \infty$, что соответствовало случаю обтекания одиночной призмы на плоскости [12].

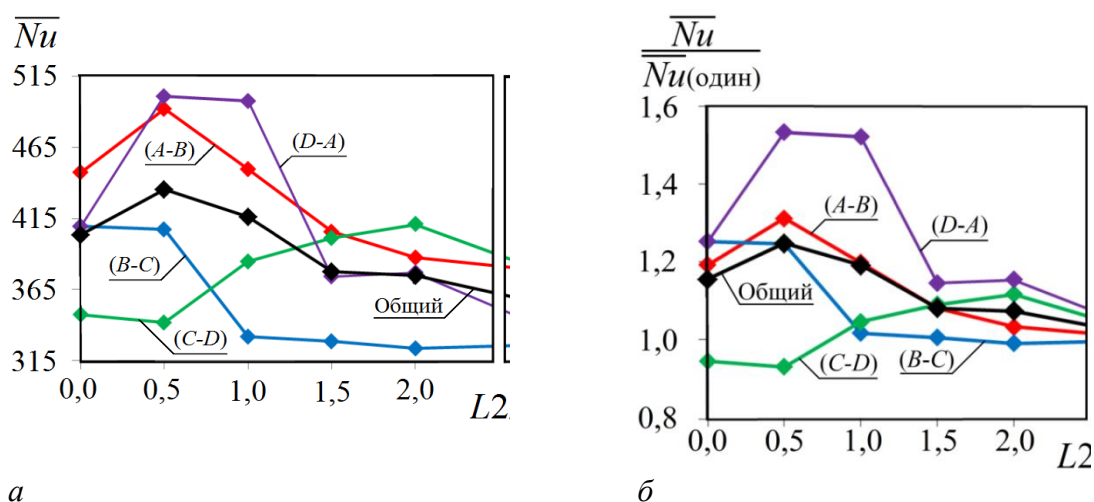


Рис. 3. Теплообмен граней модели 2 в зависимости от расстояния между моделями $L2/a$, $L1/a = 1,0$; $Re = 4,25 \cdot 10^4$; $\alpha = 0^\circ$:
 а – зависимость $Nu/Nu_{(один)}$ от $L2/a$; б – зависимость Nu от $L2/a$;
 ♦ – средний по грани (A–B); ♦ – средний по грани (B–C);
 ♦ – средний по грани (C–D); ♦ – средний по грани (D–A); ♦ – средний по призме

При малом расстоянии между моделями $L1/a = 1,0$ и смещении $L2/a$ от 0 до 2,0 (рис. 3) происходит интенсификация средних коэффициентов теплообмена по граням модели 2. Максимальная величина теплообмена находятся на боковой грани (D–A) при $L2/a = 0,5$, минимальная – на боковой грани (B–C) при $L2/a = 2,0$.

На кормовой грани (C–D) происходит изменение величины теплообмена при увеличении смещения $L2/a$ до 20 % при расстоянии $L2/a = 2,0$, и вклад от этой грани в общий теплообмен становится существенным.

Большие изменения значений теплообмена происходят на лобовой (A–B) до 25% и на боковой (D–A) до 55 % гранях при смещении $L2/a = 0,5 \div 1,0$. Дальнейшее увеличение смещения $L2/a = 1,0 \div 2,0$ приводит к снижению величины теплообмена.

На боковой грани (B–C) теплообмен снижается при $L2/a > 0,5$, грань выходит из аэродинамического следа модели 1 и попадает под действие первичного отрывного течения.

При $L2/a > 1,0$ модель 2 выходит из следа модели 1, теплообмен от граней модели 2 резко снижается, стремясь к значениям граней отдельно стоящей призмы.

Из рис. 3 также видно, что разброс данных по граням увеличивается при минимальном смещении моделей $L2/a = 0,5 \div 1,0$ до 60 %. При $L2/a > 1,0$ модель 2

выходит из следа модели 1, теплообмен от граней модели 2 резко снижается и стремится к значениям отдельно стоящей модели.

Механизм снижения теплообмена при увеличении расстояния между призмами $L/2/a$, как свидетельствуют визуализационные картины наблюдения [11], объясняется тем, что позади стоящая модель, выходит из аэродинамического следа впереди стоящей модели, снижается воздействие отрывных течений и вихреобразования, что приводит к уменьшению значений коэффициентов теплообмена, при этом картина обтекания приближается к отдельно стоящей призме.

Литература

1. СНиП 23.02.2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. - М.: Стройиздат, 2011. - 81 с.
2. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. - М.: Стройиздат, 2004. - 144 с.
3. ТСН 23-316-2000 Тепловая защита жилых и общественных зданий. Томская область / Госстрой России. - М.: Стройиздат, 2000. - 23 с.
4. Meinders E.R., Van Der Meer T.H, Hanjalic K. Local convective heat transfer from an array of wall-mounted cubes // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1997. Pp. 335–346.
5. Meinders E.R., Hanjalic K. Vortex structure and heat transfer in turbulent flow over a wall-mounted matrix of cubes // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1999. Pp. 255–267.
6. Meinders E.R., Hanjalic K. Experimental study of the convective heat transfer from in-line and staggered configurations of two wall-mounted cubes // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2002. Pp. 465–482.
7. Терехов В.И., Гныря А.И., Коробков С.В. Структура течения и теплообмен от одиночного куба, расположенного на поверхности при различных углах атаки // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2010. – Т.17, №4. – С. 521- 533.
8. Гныря А.И., Терехов В.И., Коробков С.В. результаты визуализации течения воздушного потока вдоль ряда из двух кубов, расположенных на плоскости друг за другом // *Вестник ТГАСУ*. 2009. № 3. С. 117-124.
9. Мокшин Д.И. Методика проведения и обработки экспериментов по исследованию локальной и средней теплоотдачи зданий и сооружений / Д.И. Мокшин, С.В. Коробков // *Наука и современность*. -2014. -№ 31. -С. 112-122.
10. Мокшин Д.И. Расчет локального коэффициента конвективной теплоотдачи с помощью программы ЭВМ / Д.И. Мокшин, С.В. Коробков // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. -2014. -№ 13. -С. 216-223.
11. Мокшин Д.И. Коробков С.В. Исследование среднего теплообмена отдельно стоящих квадратных призм / Д.И. Мокшин, С.В. Коробков // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. -2014. -№ 13. -С. 196-202.
12. Мокшин Д.И. Исследование структуры течения воздушного потока ряда квадратных призм при смещении одной из моделей от продольной оси канала / Д.И. Мокшин, С.В. Коробков // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. -2014. -№ 13. -С. 202-208.