

АЭРОДИНАМИКА И ТЕПЛОТДАЧА С ПОВЕРХНОСТЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРЕХЭТАЖНОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

Басок Б.И., Давыденко Б.В., Новицкая М.П., Гончарук С.М.

Институт технической теплофизики НАН Украины,

ул. Булаховского 2, Киев, Украина

basok@ittf.kiev.ua, bdavydenko@ukr.net, mmarina@ukr.net, goncharuk-s@ukr.net

В связи с увеличением мировых цен на энергоносители и ухудшением экологической ситуации особенно важным для каждой страны является энергосбережение. Современными строительными нормами при расчете уровней энергопотребления и теплоизоляции зданий принято задавать значения коэффициентов теплоотдачи на внешней и внутренней поверхностях равными 23 Вт/(м²К) и 8,7 Вт/(м²К) соответственно. Однако использование постоянных значений коэффициентов теплоотдачи на внутренних и наружных поверхностях ограждений может привести к неточностям в определении теплотерь. В докладе представлены зависимости локальных и средних коэффициентов теплоотдачи на наружных поверхностях от масштаба скорости набегающего потока v_0 , полученные на основе численного решения задачи аэродинамики и теплопереноса.

Введение

В современном строительстве большое внимание уделяется вопросам повышения теплоизоляционной способности ограждающих конструкций сооружений. При этом оценка теплотерь с их поверхностей в окружающее пространство выполняется по разработанным более 30 лет тому назад методикам и нормам. В частности, для расчета термического сопротивления теплоотдачи от наружных стен рекомендуется принимать значение коэффициента теплоотдачи $\alpha=23$ Вт/(м²К) вне зависимости от характера внешних метеорологических условий. Известно, однако, что коэффициент теплоотдачи на наружных поверхностях ограждений является величиной, изменяющейся вдоль указанных поверхностей, и зависящей как от формы и размеров сооружения, так и от скорости и направления ветрового потока. В ряде случаев указанный упрощенный подход к решению задачи о теплоотдаче с наружных поверхностей стен может привести к ошибочным результатам при определении реальных значений теплотерь сооружения.

Уровень теплоотдачи с внешних поверхностей ограждающих конструкций зависит от характера аэродинамического и теплового взаимодействия ветрового потока с обтекаемым сооружением. В связи с этим, перспективным подходом к решению проблемы о теплотерях сооружения следует считать расчет функции распределения коэффициентов теплоотдачи по наружным поверхностям ограждений на основе решения задачи о турбулентном переносе импульса и энергии ветровым потоком, омывающим исследуемое сооружение. Кроме того, количество холодного приточного воздуха, поступающего в помещения через вентиляционную систему и неплотности в ограждениях, которое существенно влияет на величину суммарных теплотерь, также зависит от характера полей скорости, давления и температуры в ветровом потоке вокруг здания.

В докладе представлены результаты численного моделирования аэродинамического и теплового взаимодействия типового трехэтажного гражданского сооружения, подобного административному корпусу ИТТФ НАН Украины, с внешним

ветровым потоком. Сооружение имеет форму прямоугольного параллелепипеда длиной 60 м, шириной 18 м и высотой 10,6 м. Рядом с ним располагается подобное сооружение тех же размеров. Оба сооружения соединены между собой коридорным одноэтажным перешейком.

Задача решается в прямоугольной области, включающей два указанных сооружения, а также примыкающую к ним область воздушного пространства. Исследуются структура и динамические характеристики воздушного течения, омывающего оба сооружения, при разных направлениях невозмущенного ветрового потока. Из решения задачи теплопереноса для указанных случаев определяются также распределения коэффициентов теплоотдачи по поверхностям внешних ограждений здания.

Задача описывается системой уравнений турбулентного переноса импульса и энергии ветровым потоком. Для замыкания системы уравнений турбулентного переноса используется стандартная $k-\epsilon$ модель турбулентности. Во входном сечении расчетной области со стороны набегающего ветрового потока задается функция распределения горизонтальной скорости по высоте, которая имеет вид степенной зависимости $v_\infty = v_0 \cdot (z/z_0)^n$ ($n=0,45$; $z_0=5$ м), и температура невозмущенного ветрового потока T_∞ . На поверхности здания задается постоянное значение температуры T_w . Система уравнений турбулентного переноса решается методом конечных разностей. Для решения системы разностных уравнений используется алгоритм SIMPLER [1].

Картины течения при продольном и поперечном обтекании сооружения представлены на рис. 1 и рис. 2. На данных рисунках представлены также поля коэффициентов давления K_p , которые рассчитываются по формуле $K_p = \frac{p - p_\infty}{\rho v_0^2 / 2}$, в которой величина p_∞ соответствует давлению в невозмущенном потоке.

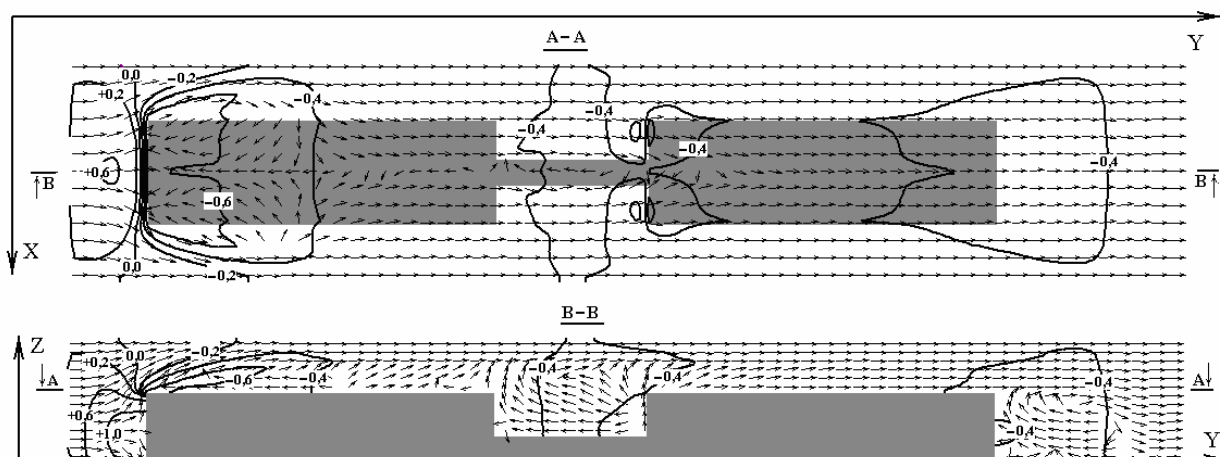


Рис. 1. Картина течения и распределение коэффициентов давления в горизонтальной (А-А) и вертикальной (В-В) плоскостях, параллельных вектору скорости невозмущенного потока при продольном обтекании сооружения.

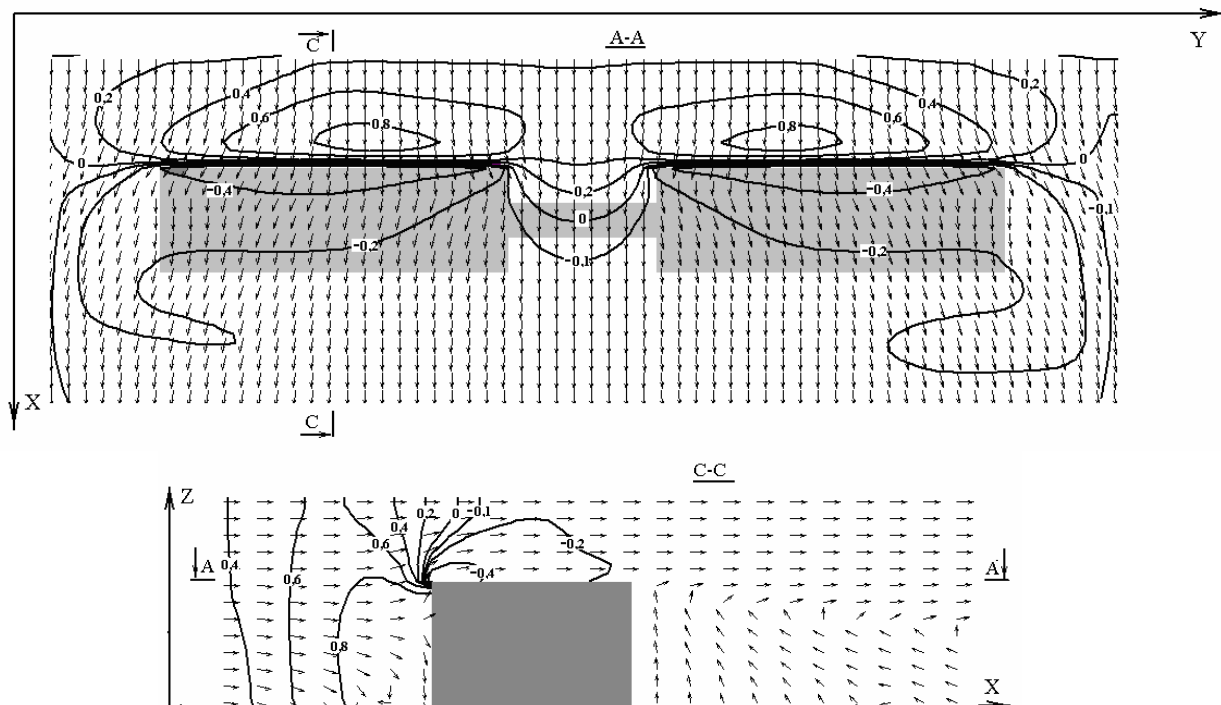


Рис. 2. Картина течения и распределение коэффициентов давления в горизонтальной (А-А) и вертикальной (С-С) плоскостях, параллельных вектору скорости невозмущенного потока при поперечном обтекании сооружения.

Как видно из представленных рисунков, в воздушном потоке около сооружения образуются три характерных циркуляционных зоны. Первая располагается у основания сооружения с его наветренной стороны. Вторая циркуляционная зона образуется на крыше здания вследствие отрыва потока от ее передней кромки. Третья, наиболее обширная циркуляционная зона, располагается с заветренной стороны здания.

С наветренной стороны вследствие торможения потока коэффициенты давления - положительные. Их значения увеличиваются по мере приближения к боковой поверхности здания. За передней кромкой крыши величины K_p стремительно уменьшаются и становятся отрицательными. Вдоль крыши значения K_p несколько увеличиваются в направлении потока, оставаясь при этом отрицательными. В заветренной циркуляционной зоне аэродинамические коэффициенты также имеют отрицательные значения. Вследствие перепада давления между наветренной и заветренной сторонами сооружения создаются условия для проникновения наружного холодного воздуха в помещения через неплотности в дверных и оконных проемах, которые занимают значительную часть поверхности ограждающих конструкций данного сооружения.

Структура воздушного течения около сооружения в значительной степени определяет характер теплоотдачи с его наружных поверхностей. Распределения коэффициентов теплоотдачи α вдоль средних линий боковых стен, крыши и торцевой стены, полученные из решения задачи теплопереноса в воздушном потоке при продольном направлении ветра, представлены на рис. 3-5. Результаты получены для трех значений масштаба скорости v_0 .

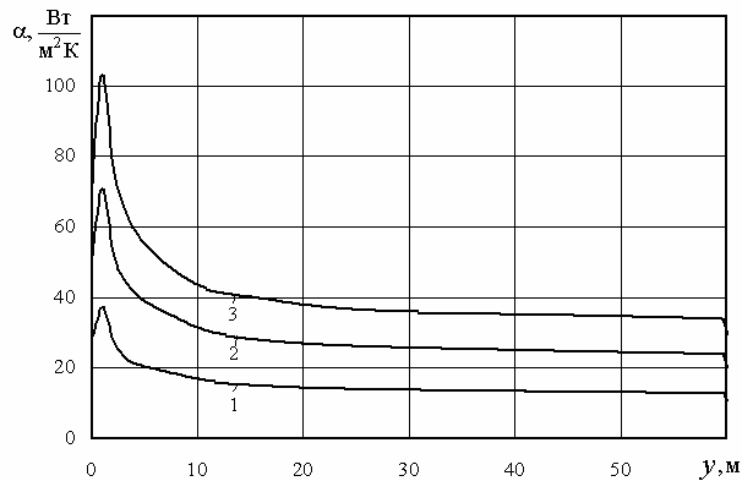


Рис. 3. Распределения коэффициентов теплоотдачи вдоль средней линии поверхности боковой стены при продольном обтекании сооружения: 1 – $v_0=5$ м/с; 2 – 10 м/с; 3 – 15 м/с.

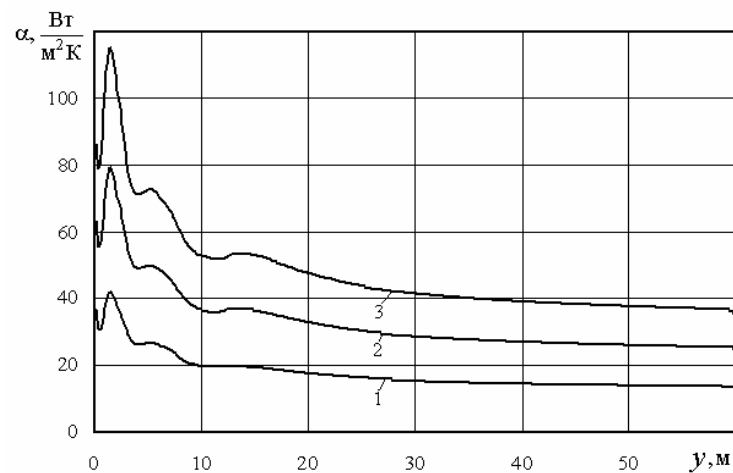


Рис. 4. Распределения коэффициентов теплоотдачи вдоль средней линии поверхности крыши при продольном обтекании сооружения: 1 – $v_0=5$ м/с; 2 – 10 м/с; 3 – 15 м/с.

Как видно из рисунков, коэффициенты теплоотдачи на боковых поверхностях и на крыше достигают максимальных значений на расстоянии 1,0...1,2 м от передних кромок соответствующих поверхностей, что связано с наличием возвратных течений в циркуляционных зонах. В направлении потока, вследствие увеличения толщины пограничного слоя, значения коэффициентов теплоотдачи уменьшаются. В связи со сложным, циркуляционным характером течения в области за передней кромкой крыши (рис. 1), на кривых, описывающих распределение коэффициентов α вдоль крыши, наблюдаются участки их роста и уменьшения, что связано с отрывом и последующим присоединением к поверхности турбулентного пограничного слоя (рис. 4).

Значения коэффициентов теплоотдачи на поверхности торцевой стены, на которую набегаёт ветровой поток, минимальны у ее основания и максимальны в верхней ее части, граничащей с крышей (рис. 5). Рост коэффициентов теплоотдачи в верхней части стены обусловлен увеличением вертикальной скорости течения и отрывом потока от передней кромки крыши. Уменьшение коэффициентов теплоотдачи в нижней части стены связано с наличием возвратного течения в вихревой зоне у основания сооружения.

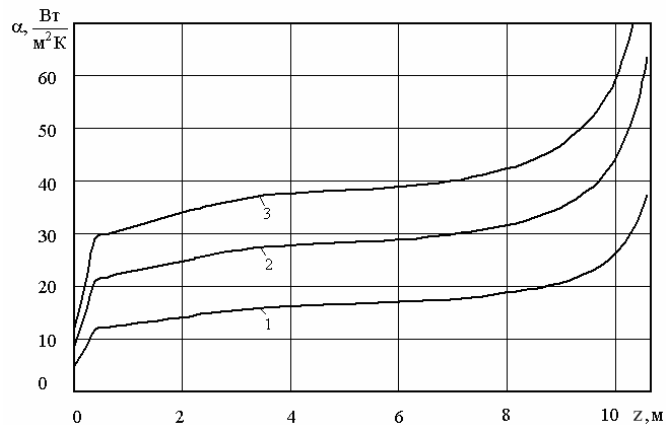


Рис. 5. Изменение коэффициентов теплоотдачи по высоте торцевой стены: 1 – $v_0=5$ м/с; 2 – 10 м/с; 3 – 15 м/с.

С увеличением масштаба скорости набегающего потока v_0 значения коэффициентов теплоотдачи также увеличиваются. Зависимости осредненных по поверхностям коэффициентов теплоотдачи от масштаба скорости набегающего потока v_0 могут быть представлены в виде степенных функций вида:

$$\alpha_{\text{ср}} = 3,69(v_0)^{0,89} \text{ – для поверхности боковой стены;}$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 4,15(v_0)^{0,9} \text{ – для поверхности крыши;}$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 5,05(v_0)^{0,76} \text{ – для поверхности торцевой стены с наветренной стороны сооружения.}$$

Распределение коэффициентов теплоотдачи по высоте боковой стены при поперечном обтекании сооружения (рис. 2), полученное для масштаба скорости $v_0=5$ м/с, представлено на рис. 6. Приведенная на данном рисунке зависимость по характеру аналогична функции распределения коэффициентов теплоотдачи на торцевой стене при продольном направлении ветрового потока (рис. 5).

Распределение коэффициентов теплоотдачи поперек крыши для данного случая приведено на рис. 7. Как и при продольном направлении ветра, максимальное значение коэффициента теплоотдачи $\alpha=50$ Вт/(м²К) наблюдается на расстоянии 1,2 м от передней кромки крыши. Далее вниз по потоку их значения в целом убывают. Лишь около задней кромки, где сказывается влияние заветренной циркуляционной зоны, коэффициенты теплоотдачи несколько увеличиваются.

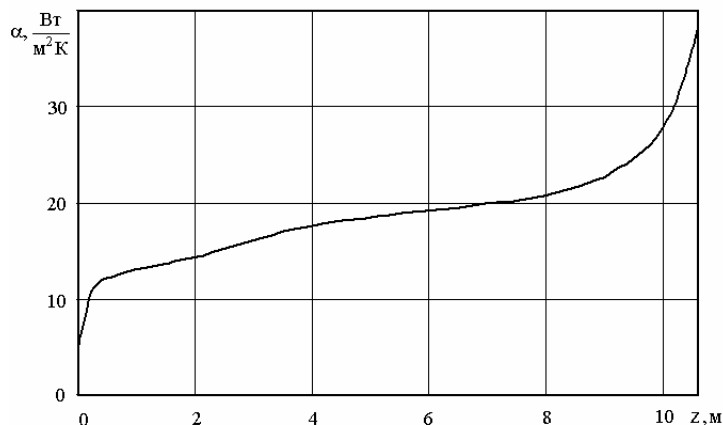


Рис. 6. Изменение коэффициентов теплоотдачи по высоте боковой стены со стороны набегающего потока при поперечном обтекании сооружения ($v_0=5$ м/с).

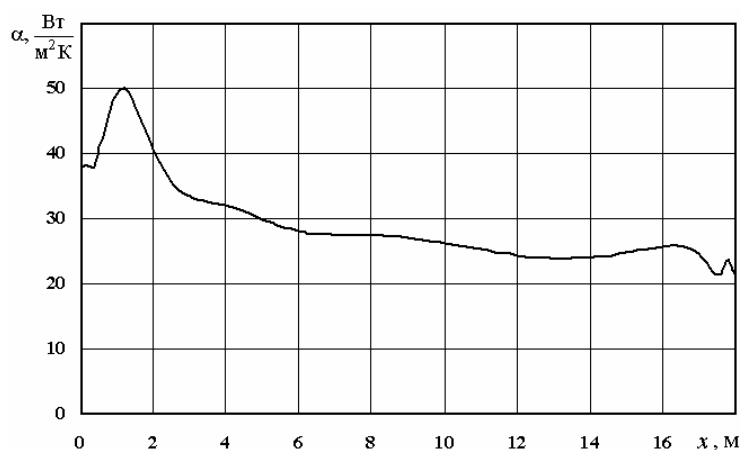


Рис. 7. Изменение коэффициентов теплоотдачи по ширине крыши при поперечном обтекании сооружения ($v_0=5$ м/с).

Заключение

Как следует из представленных результатов, при скоростях набегающего ветрового потока $v_0 \geq 5$ м/с значения коэффициентов теплоотдачи на поверхностях сооружения могут значительно превосходить величины, рекомендуемые для инженерных расчетов. Распределение локальных коэффициентов теплоотдачи вдоль поверхностей ограждающих конструкций – неравномерное. Их значения зависят от направления и масштаба скорости воздушного потока, а также от ориентации поверхности сооружения по отношению к направлению ветра.

Список литературы

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

Список условных обозначений

K_p – коэффициент давления;
 p , Па – давление;
 T , К – температура;
 v , м/с – горизонтальная скорость ветрового потока;
 x, y, z , м – поперечная, продольная и вертикальная прямоугольные координаты;
 α , Вт/(м²К) – коэффициент теплоотдачи на наружных поверхностях ограждений;
 ρ , кг/м³ – плотность.

Нижние индексы:

ср – средний;
w – поверхность;
0 – начальный;
 ∞ – невозмущенный поток.