

5. Gan G., Riffat S.B. Numerical determination of energy losses at duct junctions // Appl. Energy. 2000. Vol. 67. № 3. P. 331–340.
6. Mumma S. Analytical determination of duct fitting loss-coefficients // Appl. Energy. 1998. Vol. 61. № 4. P. 229–247.
7. Зиганшин А. М. Численное моделирование течения в двухмерном тройнике / А. М. Зиганшин, В. Н. Посохин, Л. Н. Бадыкова, Г. А. Гимадиева // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 5. С. 89–95.

УДК 697.91:536.253

Барышева О. Б., Беляева Е. Э., Зиганшин А. М.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
amziganshin@kgasu.ru

ВЫБОР ПРИСТЕНОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ О СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ НАД ВЫСТУПАЮЩИМ ТЕПЛОИСТОЧНИКОМ

Аннотация. Численно решается задача о свободно-конвективном течении над выступающим теплоисточником. Определяется, наиболее адекватно воспроизводящая достоверно известные данные, пристеночная модель.

При расчете и проектировании систем вентиляции и кондиционирования важным вопросом является правильный расчет выделяющейся в помещении теплоты. Особенно это касается промышленных цехов со значительной явной теплонапряженностью. В случае если в помещении присутствуют мощные сосредоточенные источники тепла, возникающие над ними конвективные струи также вносят существенный вклад в перемещение воздушных масс, а в некоторых случаях являются единственным его побудителем. Поэтому важным вопросом рационального, а значит и энергоэффективного конструирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха является определение характеристик конвективных струй над различного рода теплоисточниками.

Существующие работы, в основном, посвящены определению теплоотдачи от теплоисточника, как правило, очень простой формы. Например, в известных справочниках приводятся критериальные уравнения конвективной теплоотдачи для случая горизонтальной пластины, заделанной заподлицо с окружающей поверхностью [1, 2]. В то время как на практике имеются случаи, когда теплоисточник поднят над окружающей плоскостью. Приведенные в справочниках данные основываются на экспериментах. В настоящее время получил широкое распространение, так называемый, численный эксперимент – это компьютерное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена, реализующих, при помощи программных комплексов, методы вычислительной гидродинамики.

При всех явных достоинствах такого способа при сравнении с натуральным экспериментом, основной сложностью компьютерного моделирования, является определение такого набора всех настроек и моделей решения – «численной схемы», при которой результаты решения будут хорошо согласоваться с уже известными и достоверными экспериментальными данными.

Имеются примеры численного решения задачи о конвекции над «объемным» теплоисточником – выступающий теплоисточник, все стенки которого нагреваются [3]. В этой работе не уделяется внимание вопросу о, так называемом, пристеночном моделировании, т. е. численному решению в пристеночной области. Программный комплекс *Fluent* позволяет, решая в ядре течения осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, в области вблизи твердых границ использовать специальные уравнения, учитывающие изменение характеристик течения в присутствии твердых границ. Система таких уравнений и образует пристеночные модели. В программном комплексе *Fluent* для «стандартной» k - ϵ модели, которая используется здесь для решения задачи, имеется три разновидности пристеночных моделей – «стандартные пристеночные функции» (Standard Wall Functions – SWF), «неравновесные пристеночные функции» (Nonequilibrium WF – NWF) и «расширенное пристеночное моделирование» (Enhanced Wall Treatments – EWT).

В данной работе численно решается задача о конвекции над выступающим теплоисточником – нагретой горизонтальной пластиной, расположенной на адиабатическом основании высотой 0,5 м над окружающей поверхностью. Геометрия области, первоначальная расчетная сетка (слева) и характерные линии тока течения (справа) приведены на рис. 1.

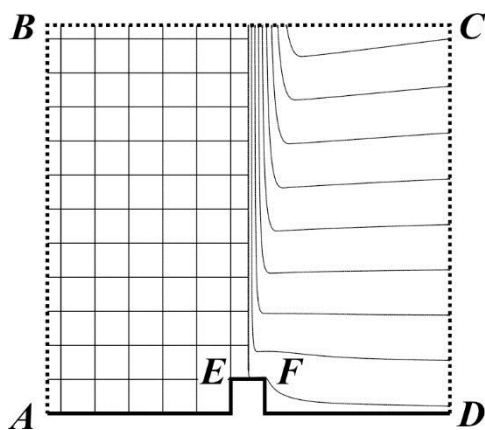


Рис. 1. Геометрия, расчетная сетка (слева) и линии тока (справа)

Границы $ABCD$ – проницаемы (для наглядности показана часть расчетной области вблизи теплоисточника), размеры расчетной области $10,5 \times 10,5$ м. Границы AE и FD – адиабатические стенки, граница EF – нагреватель шириной 0,5 м, моделируется при помощи граничного условия «стенка», с тепловым потоком $Q_0 = 1000$ Вт/м². В систему уравнений турбулентного движения

жидкости включены: уравнение переноса энергии и уравнения модели лучистого теплообмена «дискретных ординат».

Для каждого вида пристеночных функций решается ряд задач с последовательным измельчением сетки, на первых этапах по всей области – для обеспечения достаточно мелкой сетки во всей области, затем уменьшающимися «столбцами» (с уменьшением области измельчения сетки по ширине, но по всей высоте расчетной области) – для еще большего уточнения решения в области развития конвективной струи, а затем уменьшающимися прямоугольниками непосредственно вблизи теплоисточника – для обеспечения наиболее мелкой сетки в области прилегающей к нагревателю, и тем самым достаточно мелкой сетки для правильного моделирования процессов теплопереноса в пограничном слое у нагревателя. В процессе измельчения расчетной сетки контролировалось безразмерное расстояние y^* [4], показывающее качество сетки в пристеночном слое, а также число Nu.

Далее на рис. 2 показаны результаты численного исследования – линии изменения числа Нуссельта в зависимости от y^* при разных способах пристеночного моделирования. Число Ra во всех численных экспериментах было порядка $6 \cdot 10^8$, т. е. теплоотдача ламинарная.

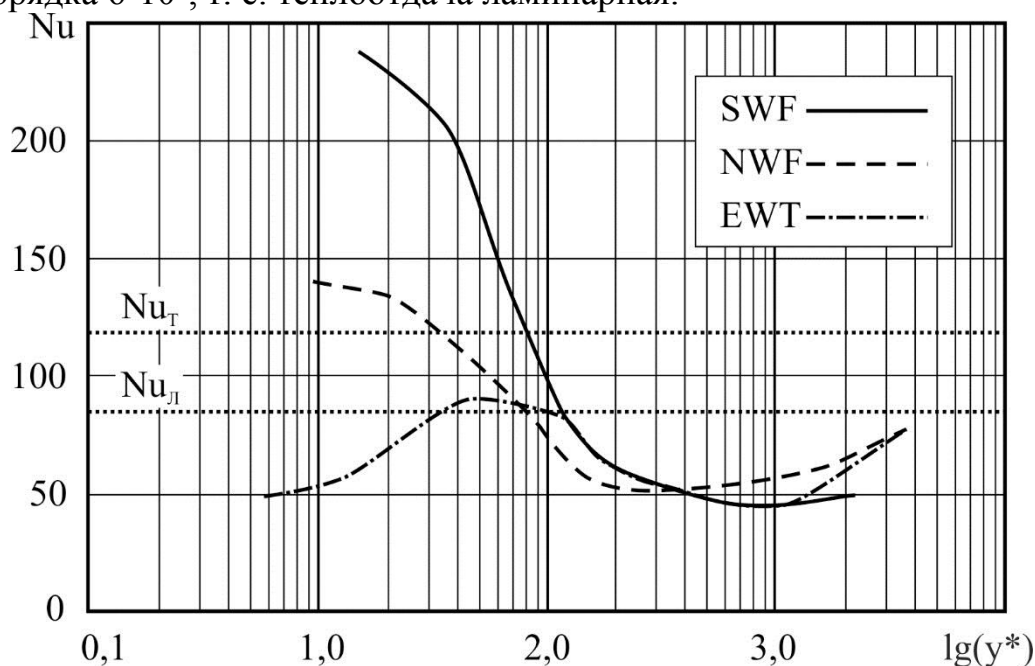


Рис. 2. Зависимость числа Nu от степени измельчения сетки (y^*) и вида пристеночного моделирования

На рис. 2 также показаны (пунктиром) значения числа Nu, построенные по критериальным зависимостям для турбулентной (Nu_T) и ламинарной (Nu_L) конвективной теплоотдачи от горизонтальной пластины заделанной заподлицо в окружающую плоскость [2]. Видно, что все три модели показывают примерно одинаковое значение числа $Nu \approx 50$ при значениях $y^* \sim 200 \dots 400$. При этом наиболее подробная модель EWT возвращается к этому значению при $y^* \sim 8$. В [4] указаны рекомендуемые значения y^* : для SWF ~ 30 , а EWT ~ 1 . Также видно, что значение Nu ниже значения Nu_L , что может быть связано с отличием условий подтекания воздуха к нагревателю, находящемуся на основании.

Список использованных источников

1. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. М. : Энергия, 1975. 488 с.
2. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник / Х. Уонг; пер. с англ. М. : Атомиздат, 1979. 216 с.
3. Романов С. В. О влиянии способа подвода тепла на результаты численного решения задачи о свободной конвекции над объёмным теплоисточником / С. В. Романов, В. Н. Посохин, А. М. Зиганшин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 3-4. С. 48-53.
4. ANSYS FLUENT 6.3 Documentation / 12.10.2 Standard Wall Functions. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node512.htm> (дата обращения: 13.11.2015).

УДК 697.922:532.559.5

Гимадиева Г. А., Зиганшин А. М., Шамсутдинов Т. Ф.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
amziganshin@kgasu.ru

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЫХОДЕ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ БОКОВОЕ ОТВЕРСТИЕ

Аннотация. Работа посвящена численному исследованию течения в плоском канале с боковым отверстием. Проводится устранение сеточной зависимости. Построена характерная картина течения.

При проектировании систем вентиляции необходимо знать гидравлическое сопротивление всех элементов воздухопроводной сети. Такие данные приводятся в специальной литературе [1, 2]. В приточных системах вентиляции для подачи воздуха в помещение используются воздухораспределители различной конфигурации. При выходе через него воздух теряет энергию, как в самом воздухораспределителе, так и при проходе через отверстие, и при проходе по воздухопроводу мимо такого отверстия. Данные о сопротивлении в указанных выше справочниках отсутствуют. Информацию о коэффициенте местного сопротивления (КМС) бокового приточного отверстия можно найти в более раннем издании справочника проектировщика [3]. Кроме того эти данные имеются в [4], здесь также указано, что струя при выходе через такое отверстие отклоняется от нормали к воздухопроводу. Этот факт обычно не учитывается при расчетах воздухораспределения. Все приводимые в вышеуказанных работах данные получены экспериментально и не охватывают все необходимые при проектировании данные (например, параметры струи) и соотношения определяющих факторов (например, соотношения расходов и т. п.). Современные программные комплексы, реализующие методы вычислительной гидродинамики, позволяют достаточно точно и подробно изучить подобные течения. При этом точность и адекватность получаемых такими методами результатов должна контролироваться путем сравнения с уже