

УДК 624.011

**ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДА ПРИСТЕНОЧНЫХ ФУНКЦИЙ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕТРОВЫХ И СНЕГОВЫХ
ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ЧАСТЬ 1.**

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПРИСТІНКОВИХ ФУНКЦІЙ
ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВІТРОВИХ І СНІГОВИХ ВПЛИВІВ НА
БУДІВЛІ І СПОРУДИ. ЧАСТИНА 1.**

**APPLICATION OF THE METHOD OF WALL FUNCTIONS AT
MODELING OF WIND AND SNOW IMPACT ON BUILDINGS
AND STRUCTURES. PART 1.**

Стоянов В.В., д.т.н проф. (ОГАСА, г. Одесса), Жгалли Ш., асп.,
(ОГАСА, г. Одесса)

Стоянов В.В., д.т.н проф. (ОДАБА, м. Одеса), Жгалли Ш., асп.,
(ОДАБА, м. Одеса)

Stojanov V.V., T.Sc.D., professor (The Odessa State Academy of
Building and Architecture, Odessa), Jgalli S. P.G. (The Odessa State
Academy of Building and Architecture, Odessa)

Рівняння Рейнольдса можливо використовувати для розрахунку поля швидкості в усіх областях турбулентного пограншару. Однак, так як товщина в'язкого і буферного шарів дуже мала, вирішити рівняння в області цих шарів може бути вкрай важко. За допомогою використання пристінкових функцій можливо відмовитися від вирішення рівнянь Рейнольдса в буферній області та аналітично розрахувати швидкість поблизу стінки.

The Reynolds equations can be used to calculate the velocity field in all regions of the turbulent boundary layer. However, since the thickness of the viscous and buffer layers is very small, it is extremely difficult to solve the equations in the region of these layers. By using wall functions can be dispensed solutions Reynolds equations in the buffer region and analytically to calculate the velocity near the wall. The

method of wall functions is a special boundary condition, improves the accuracy of the simulation of the turbulent boundary layer on a relatively coarse grid. it is a way to give up a fair resolution of the viscous sublayer of the computational grid. Thus, to improve the accuracy of the result using certain velocity and temperature profiles which attempt to predict the actual profiles of the wall. All this can significantly reduce the computational grid.

The problem of modeling the wind and snow effects on buildings and structures lies in the region of applicability of several turbulence models, therefore it is necessary to conduct research, to select the combination of the model and the wall function, which will give the most realistic and accurate result.

The model of wall functions in the ANSYS program complex is described, which allows to simulate turbulent flows of liquid and gas near solid impermeable surfaces on different grids. Considers several turbulence models: the standard model $k-\varepsilon$, RNG model $k-\varepsilon$, Realizable model $k-\varepsilon$, the standard model of $k-\omega$, Transition $k-k\ell-\omega$, Transition SST and RSM. The results of solving several test problems are discussed and demonstrated.

Due to the large amount of work, modeling of wind, snow impact on hyperbolic paraboloids. The general results are presented separately in five articles in order to simplify the formulation and completeness.

Ключевые слова: уравнения Рейнольдса, турбулентного погранслоя, вязкого, буферного, пристеночных функций, моделировании, ветровых, снеговых, воздействия, ansys, стандартный модель $k-\varepsilon$, rng модель $k-\varepsilon$, realizable модель $k-\varepsilon$, стандартный модель $k-\omega$, transition $k-k\ell-\omega$, transition SST, rsm.

Ключові слова: рівняння Рейнольдса, турбулентного погранслоя, в'язкого, буферного, пристінкових функцій, моделюванні, вітрових, снігових, впливу, ansys, стандартний модель $k-\varepsilon$, RNG модель $k-\varepsilon$, Realizable модель $k-\varepsilon$, стандартний модель $k-\omega$, Transition $k-k\ell-\omega$, Transition SST, rsm.

Keywords: уравнения Рейнольдса, турбулентного погранслоя, вязкого, буферного, пристеночных функций, моделировании, ветровых, снеговых, воздействия, ansys, стандартный модель $k-\varepsilon$,

rng модель $k-\varepsilon$, realizable модель $k-\varepsilon$, стандартный модель $k-\omega$, transition $k-k\ell-\omega$, transition SST, rsm.

Введение. Большинство течений, встречающихся в природе и технике, турбулентные [1]. Для моделирования турбулентных потоков используются различные модели (алгебраические, с одним уравнением конвективно-диффузионного типа, с двумя уравнениями, с семью уравнениями и др.). Особое место в теории турбулентности занимает моделирование пограничного слоя около твердой поверхности [2]. Известны два подхода к моделированию турбулентного пограничного слоя: с разрешением ламинарного подслоя и без разрешения ламинарного подслоя. Последний подход предполагает использование эмпирических (полученных экспериментальным путем) профилей скорости и турбулентных характеристик, или, как их иначе называют, пристеночных функций [3]. Если разрешать пограничный слой около объекта сложной формы здания, то сетка будет чрезмерно большой даже для современных суперкомпьютеров. Поэтому использование пристеночных функций предпочтительно для инженерных расчетов.

Применимости метода пристеночных функций. Моделирование пограничного слоя требует применения мелкой сетки вблизи поверхности тела. Из-за малого размера ячеек приходится выбирать малый шаг по времени, большое количество ячеек также замедляет счет. С целью достижения приемлемой точности при сравнительно грубой сетке разработаны методы пристеночных функций (wall functions) [4].

Идея состоит в том, чтобы использовать универсальность логарифмического профиля скорости. В общем случае из счетной области выделяется часть, прилегающая к телу, и в этой новой области решаются специальные уравнения. Но возможна и экономная реализация метода пристеночных функций, которая сводится к тому, чтобы в ячейках, граничащих с поверхностью тела, аппроксимировать скорость не прямой или полиномом, а специальной функцией, имеющей вид логарифмического профиля. В минимальном варианте этот особый способ аппроксимации используется только для вычисления поверхностного трения и

зависящего от него потока импульса через поверхность тела, в то время как потоки вещества, импульса и энергии между ячейками вычисляются обычным способом [5].

Таким образом, все сводится к специальному алгоритму вычисления поверхностного трения, что сильно упрощает применение метода. Но, несмотря на простоту, этот метод может быть очень эффективен и существенно повышать точность расчетов по сравнению с обычным условием прилипания.

Метод пристеночных функций имеет смысл применять на сравнительно грубых сетках, когда ближайшая к поверхности тела ячейка больше вязкого подслоя. Но существует и верхний предел огрубления сетки, при котором даже этот метод не даст правильных результатов – когда ячейка выходит за пределы той части пограничного слоя, где реальный профиль скорости близок к логарифмическому [6].

В случае турбулентного течения профиль скорости может быть разбит на три области [7-10]: вязкий подслой, логарифмический слой и переходный. Положение внешней границы логарифмического слоя зависит от числа Re так, как это показано на рис.1. Размер логарифмического слоя растет с увеличением числа Re .

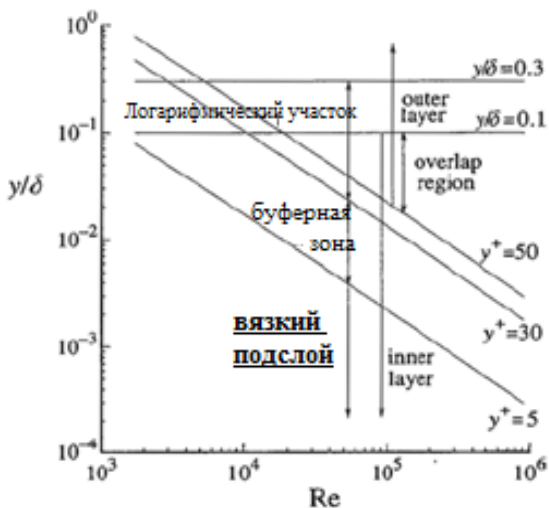


Рис.1. Подразделы пристеночной области

Где:

-вязкий подслой: $y^+ < 5$ (профиль скорости считается линейным, а вязкое напряжение доминирует в сдвиге стенки)

-буферной зоны: $5 < y^+ < 30$ (доминирует как вязкие, так и турбулентные сдвиги).

-Логарифмический участок: $y^+ > 30$ (соответствует области, где доминирует турбулентный сдвиг).

Функция y^+ определяет, является ли влияния в пристеночной зоне ламинарными или турбулентными, следовательно, указывая часть разрешенного турбулентного пограничного слоя. Она описывается как:

$$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu}; \quad u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (1)$$

где y - высота от стены до средних пристеночных ячеек, ν - кинематическая вязкость, u_τ - динамическая скорость, τ_w - напряжение сдвига на стенке, ρ - плотность жидкости или газа.

Постановка задания. Далее проведен анализ влияния диапазона пристеночной функции при модели турбулентности $k-\varepsilon$ и разных конфигураций сетки на конечной точности результатов.

На рис.2, представлена вычислительная область, что использовалась нами для настоящего анализа и для достижения поставленных целей путем сравнения с экспериментальными результатами выявлены Meng, T., Hibi, K., и другими [2]. Число Рейнольдса на H (высота здания) при $U_H = 4.45$ м/с (скорость потока при $z = H$) составляло $2,4 \times 10^4$.

Для исследования несжимаемых стационарных течений в трехмерной обстановке, применялись уравнения RANS, при разных модели турбулентности. Сетки построены в ANSYS ICEM CFD.

На рис.3. представлена 4 конфигурация сетки, тип а,б,в и г, с высотой первой ячейки от поверхности равно $0,04H$, и размером $130(x) \times 120(y) \times 78(z)$ для типа (г) и общим количеством ячеек 1,3 миллионов ячеек. Промежуточный рост между соседними ячейками для всех сеток составляет 1.10, 1.02 и 1.10 в последствие по x , y и z .

Для остальных конфигураций сетки на рис.3. показано количество ячеек.

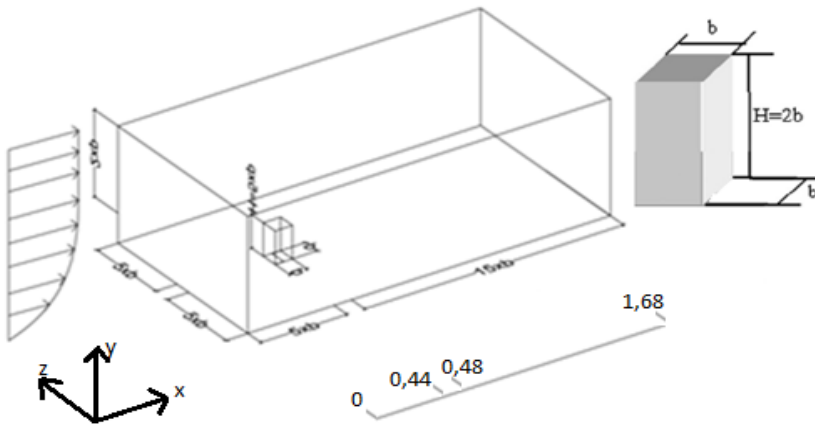


Рис.2. Схема вычислительной области и граничные условия

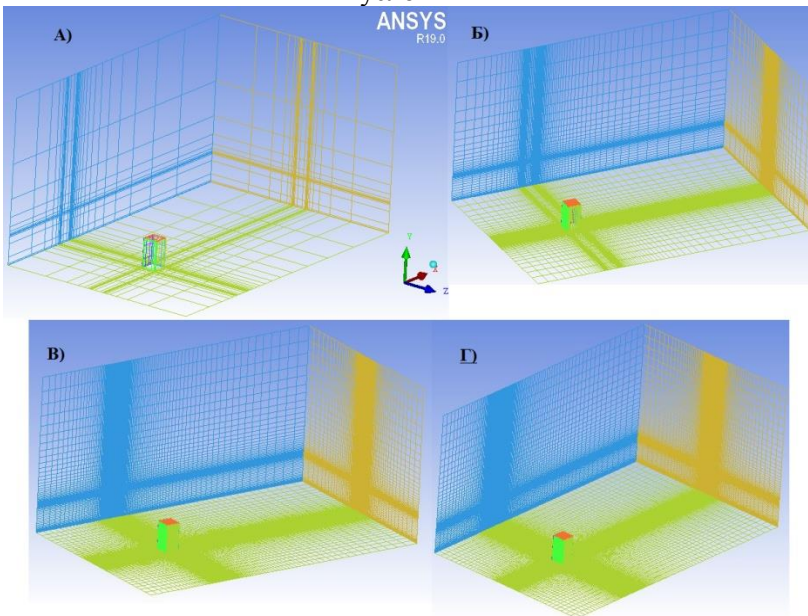


Рис.3. Разные конфигурации сетки с количеством конечных ячеек: а) $n= 17253$, б) $n= 565993$, в) $n= 910928$, г) $n= 1373463$

Профіля распределения ветра по высоте (u), турбулентная кинетическая энергия (k) и скорости диссипации турбулентной энергии (ε), установленные на входной границе, показаны на (рис.4). Отметим, что следующие данные были применены в физической испытании в аэродинамической трубе в 1998 году [2].

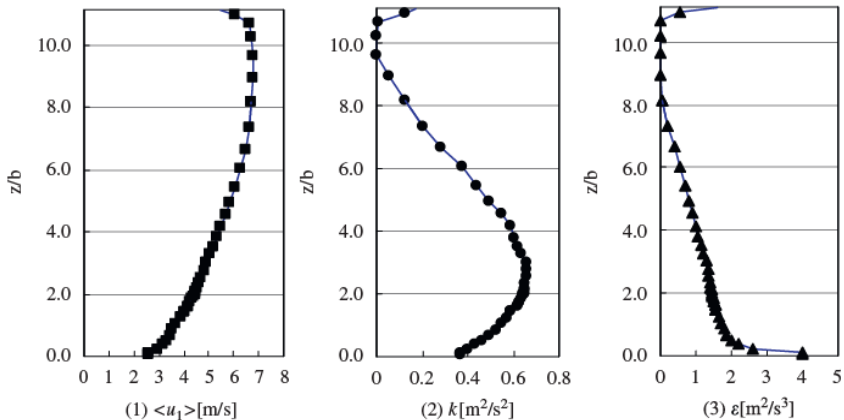


Рис. 4. Граничное условие потока при модели турбулентности $k - \varepsilon$.

Основной материал и результаты. Значения y^+ , полученные при стандартных $k - \varepsilon$ -модели турбулентности для трех рассмотренных сеток, с разрешению в буферном слое 20, и логарифмической области 40 и 110 представленный на рис (рис.5)

Действительно, из рис.5. видно как метод пристеночных функции эффективен и существенно повышать точность расчетов, при его применении на грубых сетках. Таким образом, проблемы со сходимостью и скоростью вычисления сводится к минимуму.

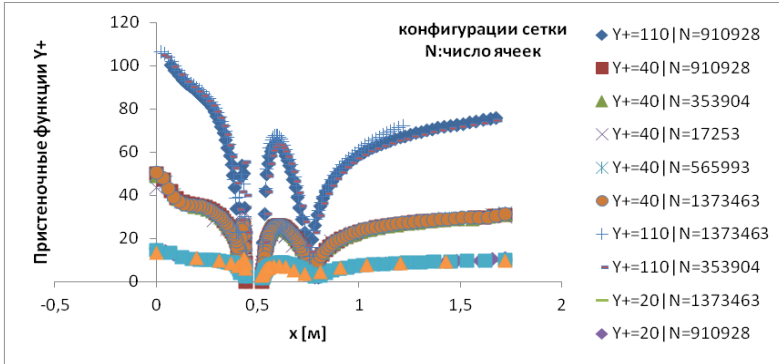


Рис. 5. Рассматриваемые функции y^+

На рис.6. показано сравнение средних профилей скорости вдоль потока в линии симметрии $x/H = 2,75$, при разных конфигурациях сетки, для выявления независимости сетки на конечном результате моделирования и связи между диапазоном пристеночных функции и конфигурации сетки.

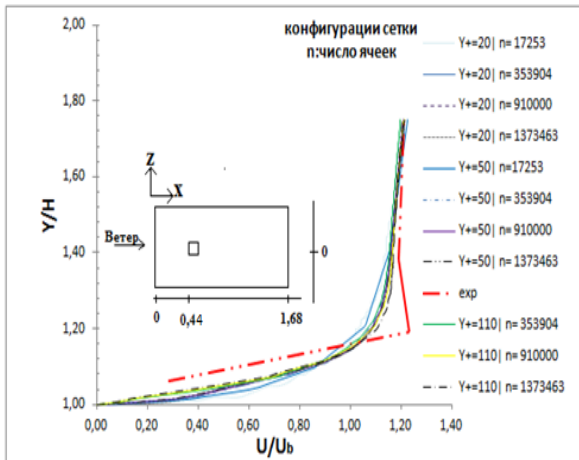


Рис. 6. Сравнение средних профилей скоростей вдоль потока в линии симметрии $x/H = 2,75$ при стандартном $k - \varepsilon$, и $R_{en} = 2,4 \times 10^4$ наряду с изменением конфигурации сетки

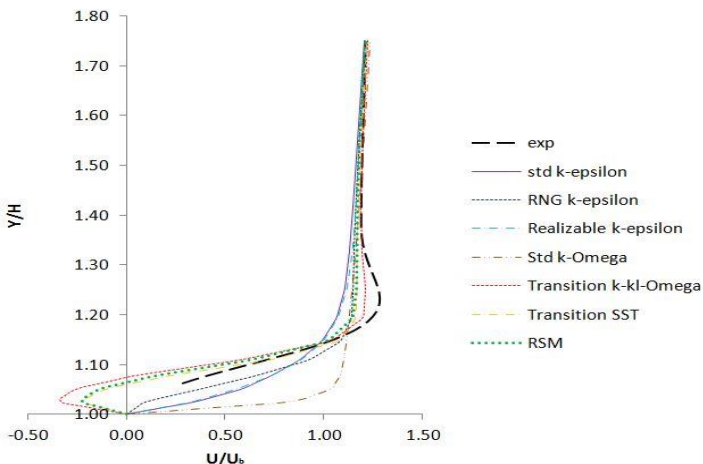


Рис. 7. Сравнение средних профилей скоростей вдоль потока в линии симметрии $x/H = 2,75$ при разных моделях турбулентности и $R_{en} = 2,4 \times 10^4$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. После сравнения результатов, показанных на (рис.6), в качестве оптимальных моделей турбулентности для проведения инженерных расчётов при которых результаты вычислений более точные выступает transition k-kl-omega. Однако, здесь не было сравнения между исправными моделями $k - \varepsilon$, и LES в нестационарном режиме и для полноты картины во второй части статьи представлен сравнительный анализ вычисления с использованием различных исправных моделей $k - \varepsilon$, (т. е. Модели LK, модели ММК и модели $k - \varepsilon$ Дурбина) с моделью (LES), путем сравнения их результатов с экспериментальными данными.

1. Мазо А.Б., Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие.– Казань: КГУ, 2007.–106с.

2. Осадчая Д.М., Математическое моделирование в задачах управления пограничным слоем при различных режимах течения. диссертаций.– Казань: 2005.– 116с.

3. Луцкий А.Е., Северин А.В., Простейшая реализация метода пристеночных функций // Препринты ИПМ им.М.В.Келдыша. 2013. No 38.22 с.
4. Knopp T. On grid-independence of RANS predictions for aerodynamic flows using model-consistent universal wall-functions // European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2006.
5. Grotjans H., Menter F. R. Wall Functions for General Application CFD Codes. 4th, Vol 1 pts 1-2; Proceedings of the fourth European computational fluid dynamics conference; 1998; Athens. Page:1112-1117.
6. К. Н. Волков, "Формулировка граничных условий на стенке в расчетах турбулентных течений на неструктурированных сетках", Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 54:2 (2014), 336–351; Comput. Math. Math. Phys., 54:2 (2014), 353–367
7. Шлихтинг Г., Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
8. Vogel J. C., Eaton J. K., Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements Downstream of a Backward-Facing Step // Journal of Heat Transfer. 1985.Vol. 107. P. 922–929.
9. Флетчер К., Вычислительные методы в динамике жидкостей в двух томах. М.: Мир, 1991.
10. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. М.:Наука, 1973.