

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ

В различных технологических процессах, связанных с гидродинамическими течениями, часто используется возможность воздействия на структуру и характеристики потока при помощи возмущений его границ. Необходимость заранее определять аэродинамические характеристики многих устройств, в которых используются подвижные и управляющие поверхности, нередко сочетается с неполным знанием явлений нестационарного обтекания этих поверхностей вязкой жидкостью. Возникающие при этом процессы характеризуются появлением сил и моментов, которые коренным образом отличаются от сил и моментов при стационарном течении.

Отсутствие строгой теории описания турбулентных потоков не позволяет выполнить теоретический анализ влияния наложенных регулярных колебаний на гидродинамику турбулентных потоков. Однако в рамках существующих моделей турбулентности и численного моделирования, основанных на математических моделях описания рассматриваемых процессов, можно получить довольно полную качественную картину изучаемого явления.

Настоящая работа посвящена численному моделированию нестационарного турбулентного пограничного слоя на периодически колеблющейся поверхности пластины (аналогично [1]).

Система уравнений нестационарного турбулентного пограничного слоя на пластине для несжимаемой жидкости имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left((\nu + \varepsilon) \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Граничные условия для данной задачи записываются как:

$$u = \bar{A} + \bar{B} \cos(Wt + j_0), \quad v = 0 \quad \text{при} \quad y = 0$$

$$u = U_m = \text{const}$$

$$\text{при } y = \infty$$

Если ввести в соответствии с [1] новые независимые переменные и безразмерную функцию тока $f(\mathbf{x}, \mathbf{h}, t)$ и выполнить соответствующие математические преобразования, связанные с переходом к системе координат $(\mathbf{x}, \mathbf{h}, t)$, то уравнения (1) преобразуются к требуемому для интегрирования виду:

$$\left((1 + \varepsilon^+) f'' \right)' + \frac{1}{2} f f'' = \xi \frac{\partial f'}{\partial \tau} + \xi f' \frac{\partial f'}{\partial \xi} - \xi f'' \frac{\partial f}{\partial \xi} \quad (2)$$

Использованные преобразования и следующая из них запись уравнения движения в виде (2) позволяют в рамках одной численной процедуры получить недостающие начальные данные в плоскостях $(\mathbf{x}, \mathbf{h}, 0)$ и $(0, \mathbf{h}, t)$.

Для замыкания системы уравнений (1) использовалась двухслойная модель расчета турбулентной вязкости [2].

Интегрирование описанной нестационарной задачи проводилось при помощи численного модифицированного метода, использующего конечноразностную "box"-схему [3] в комбинации со схемой "зигзаг" для интегрирования в области возвратного течения.

При тех же характерных параметрах, что и в работе [1], было проведено численное моделирование течения в нестационарном пограничном слое для турбулентного режима.

Сравнивая, полученные путем численного моделирования, результаты расчетов для ламинарного и турбулентного режимов течения можно отметить, что для последнего характерна более существенная зависимость осредненных значений коэффициента поверхностного трения $c_{f_{\text{оср}}}$ и толщины вытеснения $\mathbf{d}^*_{\text{оср}}$ от амплитуды колебания B , причем ее увеличение приводит к росту исследуемых характеристик.

На рис. 1 представлены распределения коэффициента силы трения пластины C_f ($C_f = 2W/(rU_\infty^2 F)$; $W = b\mu \int_0^x (\partial u / \partial y)_{y=0} dx$) как функции времени для различных значений относительной амплитуды B и смещения A в законе колебания поверхности.

Как и в случае ламинарного режима, поведение коэффициента C_f имеет периодический характер, однако при ином угле сдвига

фазы и значительном расхождении в амплитуде (~ 4 раза). Вместе с тем, сравнение результатов данных исследований и работы [1] позволяет сделать вывод, что при рассмотренных параметрах течения сила трения для турбулентного режима всегда выполняет подтормаживающую роль (за счет более интенсивного перемещения под воздействием турбулентных пульсаций в области пограничного слоя), в то время как случай ламинарного обтекания характеризуется наличием значительных временных интервалов, на которых сила сопротивления ускоряет течение в пристеночном слое. Изменение параметра A для турбулентного течения приводит не только к значительному сдвигу кривых C_f , но и к их деформации.

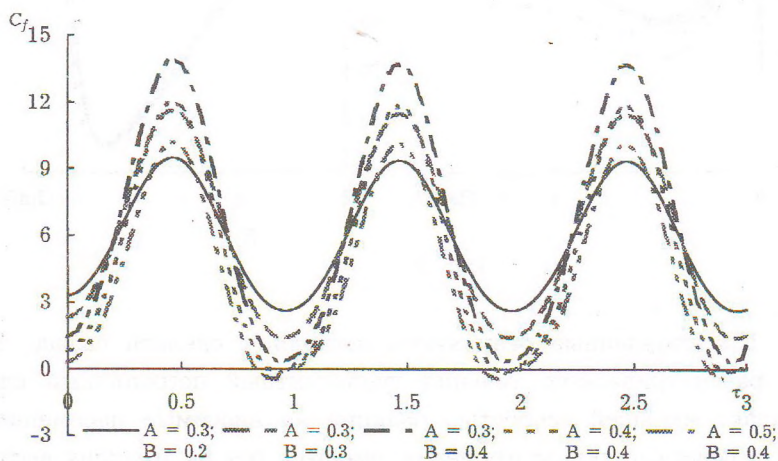


Рис. 1

Наибольшее отличие в поведении ламинарного и турбулентного режимов течения наблюдается при сравнительном изучении углов сдвига фаз между коэффициентом поверхностного трения c_{fx} (рис.2.а), толщиной вытеснения $\bar{\delta}^*$ (рис.2.б) и скоростью перемещения поверхности пластины u_w . Для значений обоих углов наблюдается слабая зависимость от амплитуды колебания B и смещения A . Величина угла сдвига фаз $j_{C_{fx}}$ изменяется в очень узком диапазоне ($160^\circ \div 177^\circ$), имея слегка выраженный, затухающий с ростом

приведенной частоты ν , колебательный характер. Сравнение кривых для j_{d*} позволяет сделать вывод только о качественном их совпадении. Минимальное значение j_{d*} , в случае турбулентного течения, достигает при $\nu \approx 4,5$ ($j_{d*} \approx 51,0^0$), локальный максимум равный $\approx 150,0^0$ имеет место при $\nu \approx 5,7$.

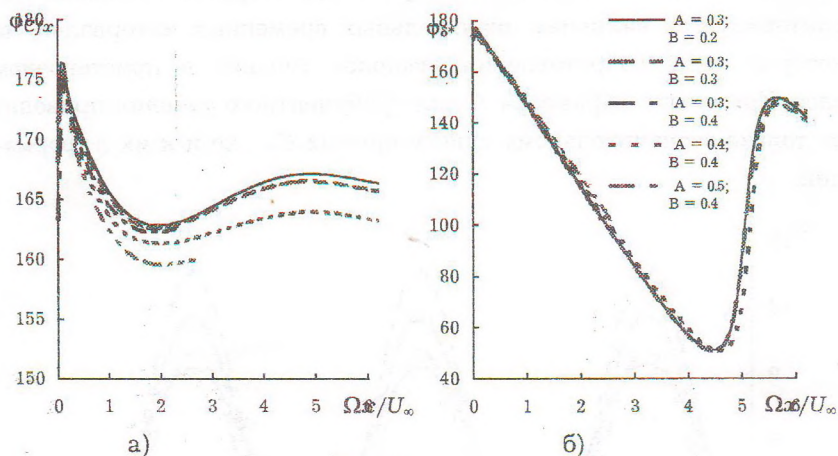


Рис. 2

Представленные результаты позволяют сделать вывод, что для рассматриваемого течения турбулентный пограничный слой обладает меньшей скоростью реакции на вносимые перемещающейся поверхностью возмущения, вместе с тем на толщину вытеснения они оказывают более глобальное воздействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головач Н.А., Хаминич А.В. Влияние вибрационного воздействия поверхности тела на характеристики пограничного слоя // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. Вып. 2 - Днепропетровск: ГНПП "Системные технологии", 1997.-С.67-70.

2. Cebeci T. Calculation of laminar and turbulent boundary layers for two dimensional time dependent flows.-NASA CR-2820, July 1977. - 38p.

3. Cebeci. T. The laminar boundary layer on a circular cylinder started impulsively from rest//J. Comp. Phys. - 1979. - v.31, N 2. - P. 153-172.

УДК 622.741.2.001.6

А.М. Сокил

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ГРОХОЧЕНИЯ И ОБЕСПЛАМЛИВАНИЯ

Настоящая работа выполнялась с целью оценки потерь ценных компонентов в процессе рудоподготовки песков к обогащению.

Технологическая схема рудоподготовки на обогатительной фабрике ВГГМК включает операции грохочения на плоских неподвижных грохотах и обеспламливание в гидроциклонах и струйных зумпфах. По данной схеме получают отмытые пески и отходы - хвосты дезинтеграции.

Опробовались два продукта - исходные рудные пески и хвосты дезинтеграции. Для отбора проб от исходных рудных песков на одной из ниток гидротранспорта было установлено пробоотбирающее устройство (рис. 1). Частота отбора проб - 10 мин. Хвосты дезинтеграции опробовались автоматическим пробоотборником с шириной щели ножа 8 мм частотой отбора проб - 15 мин.

В отобранных пробах определялось содержание твердой фазы, плотность пульпы, глина, минеральный состав, TiO_2 и ZrO_2 . Кроме того, в хвостах дезинтеграции определялось содержание зернистой фракции в г/л.

Количество рудных песков, поданных на фабрику, определялось по расходомеру пульпы, установленному на руднике. Выход хвостов рассчитывался по результатам измерения параметров потока в хвостовом лотке по формуле [1]:

$$Q_{хв} = F U \rho p, \text{ т/ч,}$$