

гает 5–10 нс при мощностях накачки, больших 8 Вт, и коэффициенте потерь порядка 0.001–0.002.

Данный метод может быть еще более эффективен в режиме синхронизации мод. В таком случае вместо последовательности из нескольких выходных импульсов формируется один сверхкороткий мощный импульс.

Литература

1. *Блистанов А. А.* Кристаллы квантовой и нелинейной оптики // М.: МИСИС. 2000. С. 49.
2. *Kalisky, Yehoshua Y.* The physics and engineering of solid state lasers // SPIE. 2006. P. 28.
3. *Храмов В. Ю.* Расчет элементов лазерных систем для информационных и технологических комплексов / СПб: СПбГУ ИТМО. 2008. С. 79.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ВИХРЕВОЙ ДОРОЖКИ В СРЕДЕ ELMER

А. В. Пашкевич

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Вихревая дорожка (дорожка фон Кармана) представляет из себя упорядоченную последовательность вихрей, наблюдаемую при обтекании жидкостью или газом линейно вытянутых плохо обтекаемых тел с продольной осью симметрии, перпендикулярной направлению движения сплошной среды.

Практическое применение это явление нашло при проектировании систем охлаждения, технологиях укрепления высоковольтных линий, находящихся на открытой местности, при изучении обтекания препятствий на водоёмах, при строительстве мостов и высотных сооружений, а также для моделирования погоды на местности с неоднородным рельефом.

Таким образом, вихревая дорожка является важным частным случаем движения сплошной среды, и изучение её в рамках учебной программы окажет положительное влияние на квалификацию студентов-физиков.

В данной работе использовано ПО с открытым кодом. ПО с открытым кодом (“Open source”) – это метод разработки и лицензирования программ, при котором каждый желающий имеет право на свободное распространение (или продажу) приложения, свободную модификацию, свободную публикацию собственных улучшений и свободный доступ к его исходным кодам. ПО с открытым кодом обладает такими преимуще-

ствами как отсутствие необходимости дорогостоящего приобретения (особенно важно для БГУ), прозрачность используемых алгоритмов (код доступен), возможность запускать и сохранять на личных компьютерах, так как отсутствует громоздкая система защиты лицензии.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Среди доступного ПО с открытым кодом, для моделирования вихревой дорожки нами был выбран пакет Elmer, предназначенный для решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Подходящая двумерная расчетная сетка (рисунок 1) распространяется вместе с пакетом Elmer.

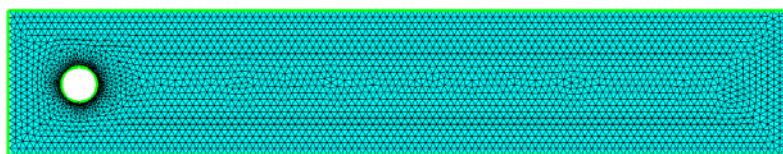


Рис. 1. Оригинальная расчётная сетка
для задачи о вихревой дорожке
(состоит из 3464 узлов и 6506 элементов)

Для моделирования процессов газогидродинамики Elmer использует уравнения Навье-Стокса для импульса (в нашем случае, двумерные) уравнение неразрывности [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где t – время, x, y – координаты, u, v – компоненты скорости сплошной среды вдоль осей x, y ; μ – кинематическая вязкость, ρ – плотность, p – давление.

Чтобы учесть процесс переноса тепла, уравнения (1) можно дополнить – уравнением теплопроводности с учетом конвекции:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

где T – температура, α – коэффициент температуропроводности.

Абсолютные значения транспортных коэффициентов выбирались так, чтобы соответствовать свойствам воды при н.у.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве начальных условий задавались нулевые скорости жидкости и равномерное распределение давления. В качестве граничного условия на входе (рисунок 1, левая граница расчетной области) задавались развитые параболические профили скорости со средними значениями 0,5 м/с, 0,75 м/с, 1,0 м/с, 1,5 м/с, 2,0 м/с. На стенках цилиндра и канала были установлены условия непротекания [2] (обе компоненты скорости нулевые). На выходе была установлена $v = 0$ и $\text{grad } u = 0$. Для того, чтобы убедиться в правильности расчётов в математическом пакете Elmer, была оценена зависимость значений безразмерных величин числа Струхала от числа Рейнольдса при разных скоростях. Результат (рисунок 2) показал совпадение с известной [3] эмпирической формулой:

$$Re = \frac{3,90}{0,198 - St} \quad (3)$$

Для определения порога образования вихрей снизу было оценено критическое число Рейнольдса:

$$Re_{кр} = 156, (180 < Re < 550, 0.176 < St < 0.192)$$

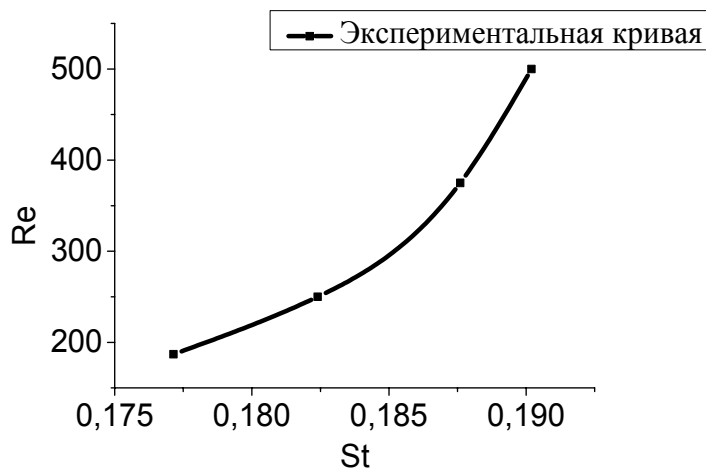


Рис. 2. График зависимости числа Рейнольдса от числа Струхала

Для четырёх случаев скорости был построен график зависимости модуля скорости жидкости (Рисунок 3) на горизонтальной оси симметрии системы от расстояния до цилиндра.

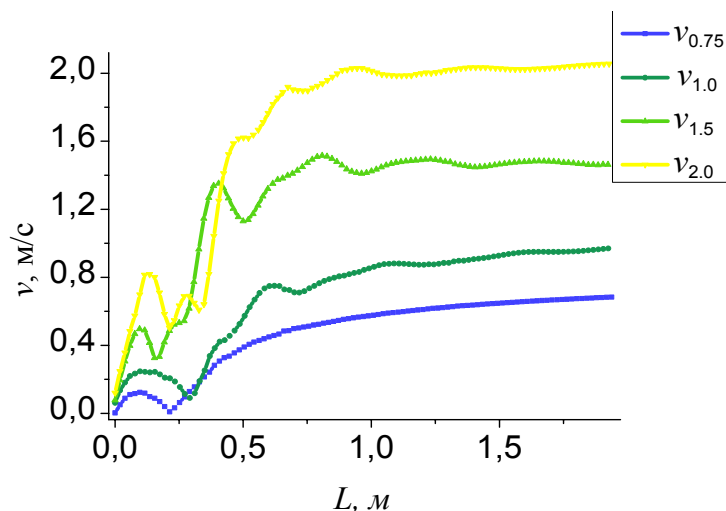


Рис. 3. Зависимость модуля скорости при обтекании цилиндра от расстояния до него

Граничные условия на скорость в неизоэтермическом случае идентичны изотермическому случаю: на входе задавался развитый параболический профиль скорости с средним значением скорости $v_{1,0} = 1,0$ м/с. Температура течения на входе среды и начальная температура среды равны $T = 293$ К, а температура цилиндра $T_{\text{ц}} = 294$ К.

По данным расчета построен график избытка средней температуры в горизонтальном слое от расстояния (Рисунок 4).

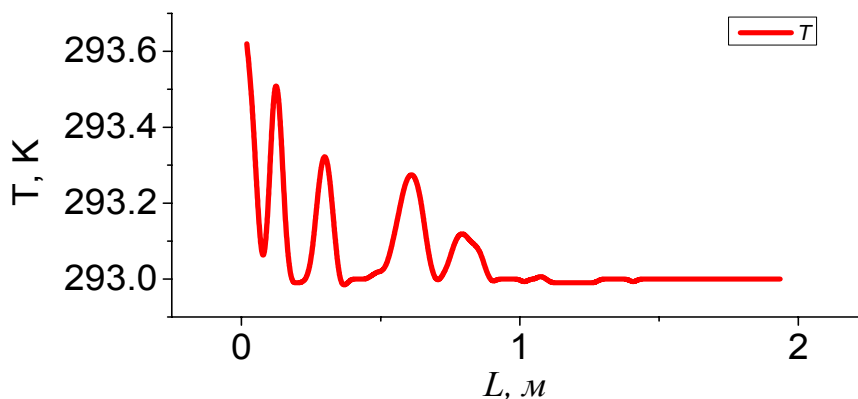


Рис. 4. График убывания температуры от расстояния до цилиндра на расчётной сетке

Выводы. С помощью свободного программного обеспечения Elmer построена модель вихревой дорожки фон Кармана, корректно воспроизводящая соотношение между числами Струхалия и Рейнольдса в исследуемом диапазоне ($180 < Re < 550, 0,176 < St < 0,192$) – при скоростях $v_{0,5} = 0,5$ м/с, $v_{0,75} = 0,75$ м/с, $v_{1,0} = 1,0$ м/с, $v_{1,5} = 1,5$ м/с, $v_{2,0} = 2,0$ м/с.

Определена нижняя граница возникновения вихревой дорожки Кармана в канале по числу Рейнольдса: $Re = 156$.

Построена модель, позволяющая осуществить расчёт вынужденной конвекции в системе на основе вихревой дорожки Кармана при средней скорости течения на входе $v_{1,0} = 1,0$ м/с, температуре на входе и по краям расчетной области $T = 293$ К и температуре цилиндра $T_{\text{ц}} = 294$ К.

Литература

1. Ландау Л. Д. , Лифшиц Е. М. Гидродинамика жидкости : учеб.-метод. пособие // Изд. 4-е. М.: Наука, 1988. 736 с.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа : учеб.-метод. пособие / М.: ГИТТЛ, 1957. 784 с.
3. Blevins, Flow Induced Vibrations, Krieger Publishing Co.: Florida, 1990.

ДЕЙСТВИЕ ЛАКТОФЕРРИНА ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЭЛАСТАЗЫ ИЗ НЕЙТРОФИЛОВ В ПРОЦЕССЕ ДЕГРАДУЛЯЦИИ

М. С. Терехова, Д. В. Григорьева

В настоящее время в медицине, косметологии, пищевой промышленности существует тенденция все большего внедрения белковых препаратов в качестве биологически-активных добавок или лекарственных средств. Одним из перспективных белков является лактоферрин (Лф), представляющий собой негемовый железосвязывающий гликопротеин семейства трансферринов [1–4]. Лф обладает целым спектром полезных свойств [4, 5], наиболее значимыми из них являются противовирусное, противоопухолевое, антимикробное и др. Лф обнаружен практически во всех секретах экзокринных желез различных млекопитающих, а также в специфических гранулах нейтрофилов [4]. Для практического применения Лф необходимо выявить наиболее подходящие источники данного белка и провести анализ эффективности препаратов различного происхождения. Использование белка из донорского женского молока (чЛф) сопряжено с риском заражения вирусами ВИЧ, гепатита и другими. Лф молока животных, в частности, коров (кЛф) может проявлять повышенные аллергенные свойства. Поэтому разрабатываются методики по синтезу Лф в организмах-«реакторах», которыми могут являться как прока-