Оглоблин Г. В., Стулов В. В.
G.V.Ogloblin, V.V.Stulov

МОДЕЛЬ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

A MODEL IN THE AIRFLOW

Оглоблин Гарий Васильевич – кандидат педагогических наук, заслуженный учитель РФ, доцент кафедры теории и методики технологического образования Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: g-ogloblin@yandex.ru.
Mr. Gariy V. Ogloblin – PhD in Education, the Honored Teacher of the Russian Federation, Assistant Professor at the Department of theory and methodology of engineering education, The Budget Amur Humanitarian&Educational State University (Komsomolsk on Amur) E-mail: g-ogloblin@yandex.ru

Стулов Вячеслав Викторович – доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, заместитель директора по научной работе Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mail@imim.ru.
Mr. Vycheclav V. Stulov – Doctor of Engineerings, Professor, the Honored Inventor of the Russian Federation, Deputy Director for Research, Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mail@imim.ru

Аннотация. С использованием жидких кристаллов выполнено моделирование обтекания трёх тел потоком воздуха. Приведено сравнение с результатами моделирования по традиционной методике.

Summary. Using liquid crystals, the authors have modeled the airflow of three bodies. A comparison with the results of modeling by a traditional technique is presented.

Ключевые слова: модель, воздушный поток, жидкие кристаллы, детектор.

Key words: model, airflow, liquid crystals, detector.

УДК 532.738:548-14

Введение. Известно, что при обтекании воздушным потоком твердого тела поток испытывает деформации, это приводит к изменению скорости, давления, температуры и плотности в струйках потока [1]. Воздушный поток становится неоднородным, возникают аэродинамические силы и моменты. Для визуализации физической картины процесса обтекания воздушным потоком тела используют дымканалы, шелковинки, бумажные ленты, оптические методы и т.д. Полученную видимую картинку принято называть аэродинамическим спектром. Нами предлагается ещё один способ, позволяющий также получить аэродинамический спектр с помощью детектора на жидких кристаллах.

Цель работы: моделирование обтекания воздухом тел различной конфигурации с использованием жидких кристаллов.

Приборы и материалы: фен с тремя режимами работы, моделируемые тела (пластина, цилиндр, крыло), детектор на жидких кристаллах холестерического типа.

Параметры воздуха [3]: t = 40˚C; β = 1,09 кг/м^3; C = 1000 Дж/кг·К; λ = 2,72·10^{-2} вт/м·К; Pr = 0,71; ν = 17,6·10^{-6} м^2/с; a = 24,8·10^{-6} м2/с. Скорость воздуха на модели $V_в$ = 0,9 м/с.

Параметры моделей: 1) Пластина – a · b, мм. 2) Цилиндр – R · l, мм. 3) Крыло – l · b, мм.

Материал поступил 01.02.2012

Методика эксперимента. Модели размещают на детекторе, и от теплового генератора подводится нагретый воздух перпендикулярно (поверхности пластины, оси цилиндра, рабочей поверхности крыла). В результате на экране детектора появляется цветовое изображение процесса обтекания воздухом моделей, которое зависит от силы давления воздушного потока, определяемого по формуле [3]

$$F = C_x \frac{\rho S}{2} V_п^2, \quad (1)$$

где F – сила давления воздушного потока (н); C_x – коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела; ρ – плотность воздуха 1,29 ($\frac{кг}{м^3}$); S – площадь поперечного сечения пластины ($м^2$), $V_п$ – скорость потока воздуха ($\frac{м}{с}$). Для тонкой пластины небольших размеров расположенной перпендикулярно воздушному потоку C_x = 1,11 [3].

Результаты исследований. На рис. 1, а – 3, а приведены картины обтекания нагретым воздухом трёх моделей. Для сравнения на рис. 1, б – 3, б – картины обтекания воздухом тел, полученные с использованием существующих методик. На рис. 4 – градуированная шкала. Сравнение полученных картин, приведённых на рис. 1, а – 3, а с изображениями на рис. 1, б – 3, б показывает, что применение разработанного жидкокристаллического детектора и методики проведения опыта позволяет визуализировать с помощью температур процесс обтекания тел различной формы. При этом температурное поле на трёх моделях представлено семейством изотерм 27-33 °С. Ультрафиолетовый цвет 33 °С характеризует область повышенного давления перед моделью (см. рис. 1 – 3), а коричневый (28 °С) и красный (27 °С) – минимальное давление и сопротивление обтекающего потока.

а) б)

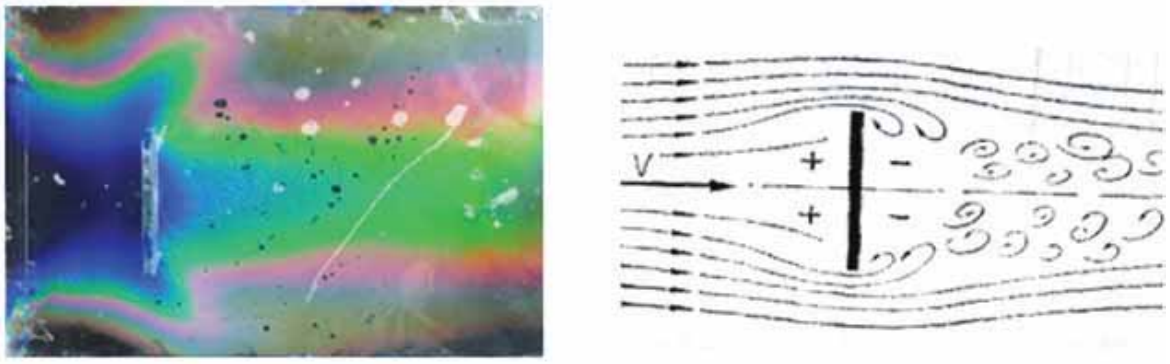

Рис. 1. Прямоугольная пластина в воздушном потоке: а – физическая картина обтекания прямоугольной пластины воздушным потоком, полученная с помощью детектора на жидких кристаллах; б – физическая картина обтекания прямоугольной пластины воздушным потоком, полученная традиционным способом

а) б)

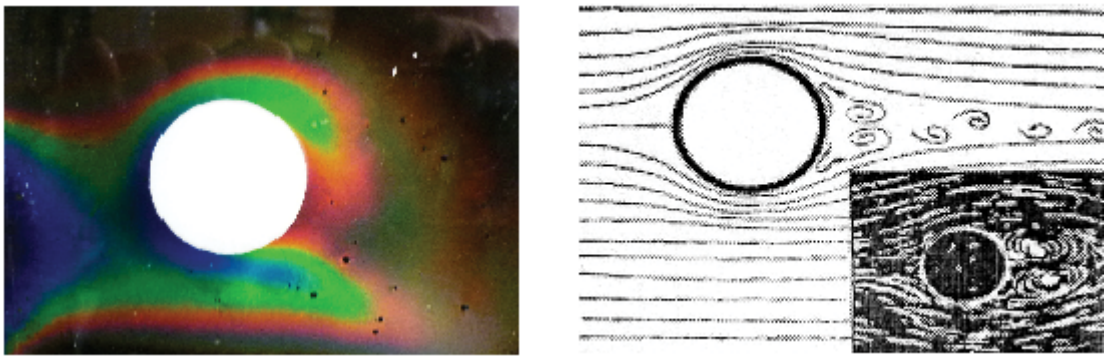

Рис. 2. Цилиндрическое тело в воздушном потоке: а – аэродинамический спектр цилиндра, полученный с помощью жидкокристаллического детектора; б – аэродинамический спектр цилиндра, полученный традиционным способом

а) б)

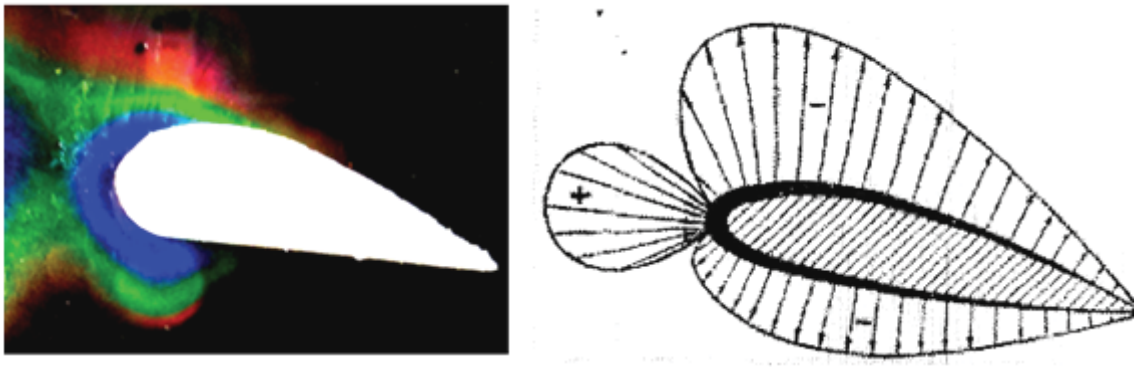

Рис. 3. Аэродинамический спектр крыла самолёта. Распределение давления по профилю крыла: а – термограмма крыла самолёта; б – графическое представление

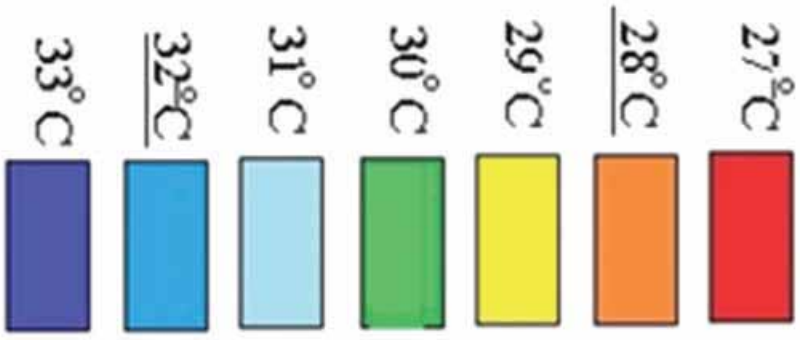

Рис. 4. Градуированная шкала. Ультрафиолетовый цвет 33 °С, синяя 32 °С, голубая 31 °С, зелёная 30 °С, жёлтая 29 °С, коричневая 28 °С, красная 27 °С.

Проведём анализ подобия процессов на модели (м) и натуре (н). На практике критерии подобия определяются в результате анализа размерностей параметров, описывающих процесс, или в результате анализа дифференциальных уравнений. Выполним анализ размерностей на примере задач о давлении воздушного потока на модели. При этом успех дела зависит от правильности определения физических величин, влияющих на процесс, что определяется интуицией [4].

Изменение давления ΔP [н/м^2] при обтекании воздухом тел зависит от: плотности воздуха ρ [кг/м^3], скорости воздушного потока $V_в$ [м/с], площади обтекаемого тела S[м^2], теплопроводности воздуха λ [Дж/с·м·К]. Для определения безразмерных комплексов применяется алгебраический метод Рэлея [4]:

$$\Delta P = A\,\rho^{а}\,V_в^{\,б}\,S^{в}\lambda^{2}. \quad (2)$$

Перепишем (2) в размерностях величин:

$$Н/м^2 = (кг/м^3)^{а} \cdot (м/с)^{б} \cdot (м^2)^{в} \cdot (Дж/с{\cdot}м{\cdot}К)^2. \quad (3)$$

Суммирование показателей степеней при одинаковых единицах приводит к системе уравнений:

$$Дж\ldots\ldots..0 = 2, \quad (4)$$
$$Кг\ldots\ldots\ldots 1 = а, \quad (5)$$
$$С\ldots\ldots\ldots(-2) = - б - 2, \quad (6)$$
$$М\ldots\ldots\ldots (1) = -3а + б + 2в - 2, \quad (7)$$

$$К\text{……..}0 = -2. \quad (8)$$

Решение (4) – (8) даёт: 2 = 0, а = 1, б = 2, в = 1, обозначив $S = X^2$, где X – характерный размер, подставим в основное уравнение (2), получим:

$$\Delta P = A\rho V_в^2 \cdot X^2 \quad (9)$$

или

$$\Delta P/ \rho V_в^2 = Eu = AX^2 , \quad (10)$$

где Eu – число Эйлера, характеризующее меру отношения сил давления и инерции в потоке воздуха. На модели ΔP = F/S, где F – сила давления потока, определяемая по формуле (1). На модели определяется $\Delta P_м = C_х \cdot \rho V_в^2/2$, где $C_х$ – коэффициент сопротивления потоку, определяемый по справочнику или расчётным путём [3]. В результате при известных на модели ρ, $V_в$, $C_х$, $X_м$ определяется диапазон значений (Eu). При $(Eu)_м = (Eu)_н$; $(C_х)_м = (C_х)_н$; $M_х = X_н / X_н$ определяются параметры для натурного образца $X_н$, $\rho_н$, $(V_в)_н$.

На рис. 1, а представлена термограмма воздушного потока, обтекающего прямоугольную пластину с использованием жидких кристаллов. Термограмма представлена изотермами разной цветности. Для расшифровки термограммы необходима градуированная шкала для данного типа жидких кристаллов. На рис. 4 представлена градуированная шкала для применяемого детектора. Сопоставляя цвета изотерм со шкалой температур, определяем температурное поле каждой изотермы. Изотермы характеризуют линии тока воздушного потока. Фиолетовая изотерма испытывает резкое изменение перед пластиной, что соответствует резкому изменению скорости, и направления движения. Давление возрастает перед пластиной и падает за ней. Изотермы синяя, голубая, зелёная и т.д. огибают пластину, сохраняя свою неразрывность. На рис. 1, б представлен традиционный способ моделирования. Линии тока воздушного потока испытывают довольно резкое изменение перед пластиной, поток меняет скорость и направление движения, происходит уплотнение и обтекание его на краях пластины. Всё это сопровождается повышением давления перед пластиной и его уменьшением за ней. За пластиной образуется область, где линии тока превращаются в вихри. Аналогично получаем термограммы для цилиндра (см. рис. 2, а) и сравниваем её с аэродинамическим спектром, полученным традиционным методом (см. рис. 2, б). Спектр крыла самолёта представлен на рис. 3, а, который получен с помощью жидкокристаллического детектора, а на рис. 3, б – традиционным способом.

Вывод. Изотермы, созданные жидкими кристаллами, характеризуют скорость линий тока и температуру. Зная исходную скорость воздушного потока, можно определить скорость линии тока одной изотермы через соотношение температур и скоростей, а также получить градиент скоростей перед пластиной и за пластиной. Аналогично задачу можно решить и для давлений в линиях тока, взяв за исходное выражение (1). Предложенная методика моделирования тепловых полей воздушных потоков с помощью жидких кристаллов позволяет получить конечный результат и определить параметры для натурных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оглоблин, Г. В. Моделирование тепловых полей воздушных потоков / Г. В. Оглоблин, Е. Г. Федулов // Актуальные проблемы математики, физики, информатики в вузе и школе: материалы в. н-п. к. г. Комсомольск-на-Амуре, 26 марта 2010 г. – Комсомольск-на-Амуре: АмГПГУ, 2010. – С. 28-31.
2. Стулов, В. В. Физическое моделирование процессов при получении литой деформированной заготовки / В. В. Стулов, В. И. Одиноков, Г. В. Оглоблин. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 175 с.
3. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справ. / Е. В. Аметистов, В. А. Григорьев, Б. Т. Емец [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
4. Мигай, М. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования / М. К. Мигай. – Л.: Энергоиздат, 1987. – 264 с.