

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

I. Varava

## **THE ELEMENTS OF CAD FOR UNMANNED AIRCRAFT BASED ON CFD-SOFTWARE**

*The some basic components for automatics projecting are proposed for concept of the mobile robot-UAV with artificial intelligence elements.*

*Key words: CAD, CFD-software, UAV.*

*Для концепції безпілотного літального апарату-розвідника з елементами штучного інтелекту запропоновано ряд базових компонентів САПР літального апарату, що є носієм сенсорів.*

*Ключові слова: САПР, CFD-паке-ти, безпілотні літаки.*

*Для концепции беспилотного летательного аппарата-разведчика с элементами искусственного интеллекта предложен ряд базовых компонентов САПР летательного аппарата, являющегося носителем сенсоров.*

*Ключевые слова: САПР, CFD-пакеты, беспилотные самолеты.*

© И.А. Варава, 2010

УДК 004.896

И.А. ВАРАВА

## **ЭЛЕМЕНТЫ САПР БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ CFD-ПАКЕТОВ**

В работах [1–7] сотрудников Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины для задач оперативного обнаружения и нейтрализации опасных быстропротекающих техно-экологических происшествий (ТЭП) указана необходимость автоматизированного проектирования, создания и сопровождения функционирования специализированных интеллектуализированных роботов-разведчиков (ИРР). В данной работе рассмотрены ИРР на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), несущих оптимальный комплект сенсоров для разведки зоны развития ТЭП, воздействия на техно-сферу и природную среду.

С учетом разнообразия классов энергетической интенсивности множества типичных ТЭП, как показано в работах [1, 2, 6, 7], целесообразно обеспечить процессы проектирования и эксплуатационного сопровождения таких ИРР. Их конструкция призвана обеспечить выполнение программы обследования и доразведки области природотехнической среды, где высок риск воздействия конкретного анализируемого ТЭП.

С учетом сказанного является актуальным создание концепции и базовых компонентов программно-аппаратных средств САПР проектирования ИРР, объединяемых в «Технопарк интеллектуализированных роботов-разведчиков» (ТИР) [1, 2, 6, 7].

Одним из компонентов САПР ТИР является система автоматизированного проектирования летательного аппарата ИРР с учетом специфики основных классов ТЭП, для разведки которых предназначен ТИР [1].

Важной частью проектирования является выбор геометрической летательного аппарата (ЛА). Учитывая это, актуальными являются аэродинамические расчеты по обтеканию профиля ЛА.

Основными уравнениями динамики тел, движущихся в жидкой или газообразной среде являются уравнения Навье – Стокса:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}$$

и уравнения непрерывности:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0,$$

где  $\vec{v}$  – 3D скорость потока жидкой или газообразной среды;  $p$  – давление,  $\rho$  – плотность массы;  $\nabla$  – оператор градиента;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $\vec{f}$  – вектор внешней силы.

Исследование аэродинамических характеристик в лабораторных условиях продолжает оставаться вынужденным экспериментом, так как современная аэродинамическая труба – это сложная и дорогостоящая установка. Однако существующие вычислительные мощности и программные средства позволяют экономить ресурсы при проектировании ЛА, а также других тел, которые движутся в жидкой или газообразной среде. Анализ необходимых вычислительных ресурсов для аэродинамических расчетов CFD пакетами приведен в таблице.

Среди программных пакетов CAD/CAE систем особого внимания заслуживают пакеты вычислительной гидроаэродинамики Computational Flow Dynamics (CFD). Такие пакеты обладают большим набором численных моделей физических процессов и позволяют проводить точное моделирование гидроаэродинамических задач, используя метод конечных элементов (МКЭ). Наиболее популярными CFD-пакетами являются Ansys CFX, Fluent, FlowVision, Flow-3D, STAR-CD, SolidWorks Flow Simulation. Для повышения производительности расчетов разработаны версии для высокопроизводительных кластерных систем: Parallel Performance for ANSYS (DPCG, DJCG, DDS, AMG), CFX-Parallel, FlowVision-HPC, STAR-HPC.

При работе с ними можно выделить пять основных функций:

- создание геометрии;
- генерация сетки;
- задание физических свойств;
- решение системы;
- визуализация результатов.

Для задач проектирования БПЛА к числу особо сложных задач относятся физические модели турбулентных течений. К ним относятся:

- модель Спаларта – Алмараса;
- прямое численное моделирование direct numerical simulation (DNS);
- метод крупных вихрей large eddy simulation (LES);
- $k$ - $\epsilon$  модель;
- $k$ - $\omega$  модель.

ТАБЛИЦА. Анализ необходимых вычислительных ресурсов для аэродинамических расчетов CFD пакетами

CFD-пакет	Характеристики					
	Параллельные вычисления	Частота процессора	Оперативная память	Дисковое пространство	Платформы, ОС	
ANSYS	Parallel Performance for ANSYS (DPCG, DJCG, DDS, AMG)	Intel P4, Pentium III - 1 ГГц	512 Мб	3.5 Гб	HP, IBM, Linux, SGI, Sun, Windows 2000, Windows XP Professional, Windows XP 64-bit, Windows XP Home	
CFX	CFX-Parallel	Intel P4, Pentium III - 1 ГГц	2 Гб	100Гб +400-550 Мб	UNIX Workstations, 32- or 64-Bit Windows and Linux	
Flow Vision	Flow Vision-HPC	Intel PIII (Celeron) 500МГц, AMD Athlon (Duron) 500МГц	256 Мб		MS-Windows, Linux	
Flow-3D		Pentium IV 3 ГГц	1024 Мб		32-bit Windows & Windows XP Home & Pro; Windows Server 2003; Windows Vista, 32-bit Linux RedHat Enterprise 3.0+ above	
ComsolMultiphysics	Windows HPC Server 2008 glibc version 2.3.2 or higher	Pentium III or later	1 Гб		Win32/64, Linux	
STAR-CD	STAR-HPC		1 Гб	2 Гб	Windows XP	
CASDynamicsTool	MPICH 1.2.x LAM 6.x	Intel Pentium III 550Mhz	512 Мб		Windows 98, NT, 2000, XP, Linux Red Hat 7.3, Solaris 8	
Fluent			512 Мб	700 Мб	HP, IBM, SGI, Linux, Windows	

В рамках некоторых пакетов возможна разработка модулей, которые добавляются к базовым возможностям дополнительную функциональность.

В качестве исследуемого в данной работе пакета был выбран ANSYS/FLOTRAN, поскольку в этом случае можно проводить механико-прочностные расчеты ЛА и исследовать внешнее обтекание крылового профиля с визуализацией турбулентных вихрей.

При работе с ANSYS/FLOTRAN поддерживается внутренний язык программирования APDL (ANSYS Parametric Design Language).

Автором разработана программа WIND-UAV, дополняющая коммерческий программный пакет ANSYS/FLOTRAN, которая позволяет сгенерировать APDL-файл на основе загружаемого чертежа профиля крыла, заданных значений скорости полета и угла атаки. Результатом работы полученного скрипта являются вычисленные значения подъемной силы, силы лобового сопротивления и аэродинамического качества крыла  $K$ , т. е. отношения подъемной силы к силе лобового сопротивления:

$$K = \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{ло}}}$$

Аэродинамическое качество крыла зависит от угла атаки, формы и плана профиля. Чем больше значение  $K$ , тем большую подъемную силу может создавать крыло при данной скорости полета.

Подъемная сила вычисляется по следующей формуле:

$$F_{\text{п}} = \int P \cos(\arctg\left(\frac{dy}{dx}\right)) dl,$$

а сила лобового сопротивления рассчитывается из выражения:

$$F_{\text{ло}} = 2\pi \int \left( P \cdot y \cdot \frac{dy}{dl} \right) dl,$$

где  $l$  – путь вдоль профиля крыла;  $P$  – давление (рассчитывается в процессе решения).

В качестве примера рассмотрим известный профиль ЦАГИ П-51, который был разработан для легкомоторных самолетов.

Рассчитанные с помощью программного пакета ANSYS/FLOTRAN поле скоростей и поле давлений в окрестности крылового профиля ЦАГИ П-51 (позволяющие вычислить подъемную силу  $F_{\text{п}}$  и лобовое сопротивление  $F_{\text{ло}}$ ) для угла атаки  $\alpha = 20^\circ$  показаны на рис. 1.

Проводя серию численных экспериментов по расчету поля давления при различных значениях угла атаки, можно построить поляру. Например, для профиля НАСА М-10 (рис. 2) была получена зависимость между подъемной силой и силой лобового сопротивления, показанная на рис. 3.

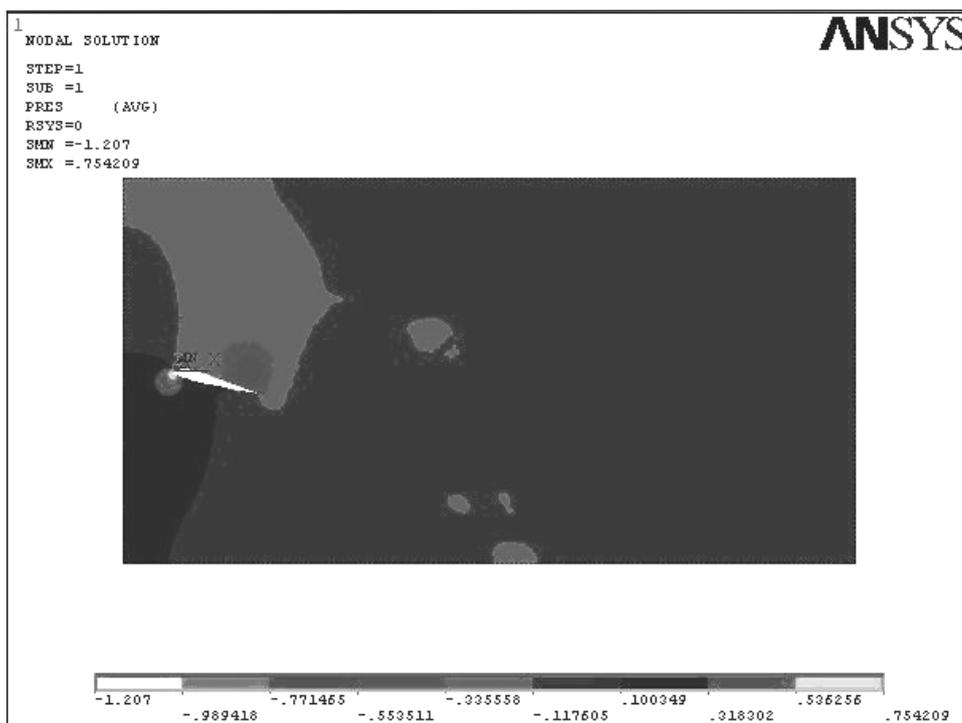
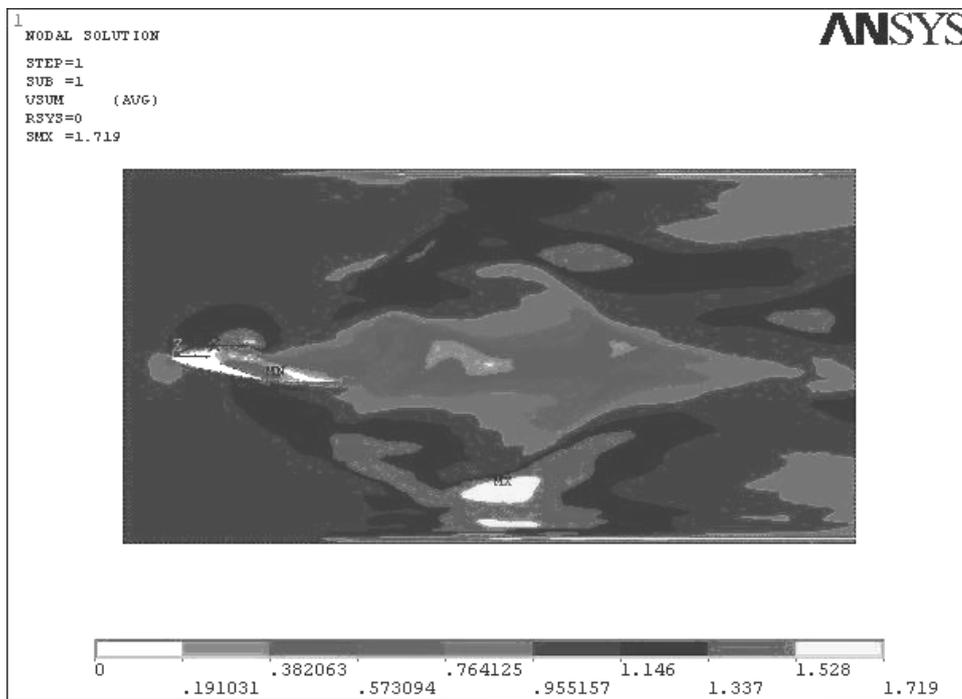
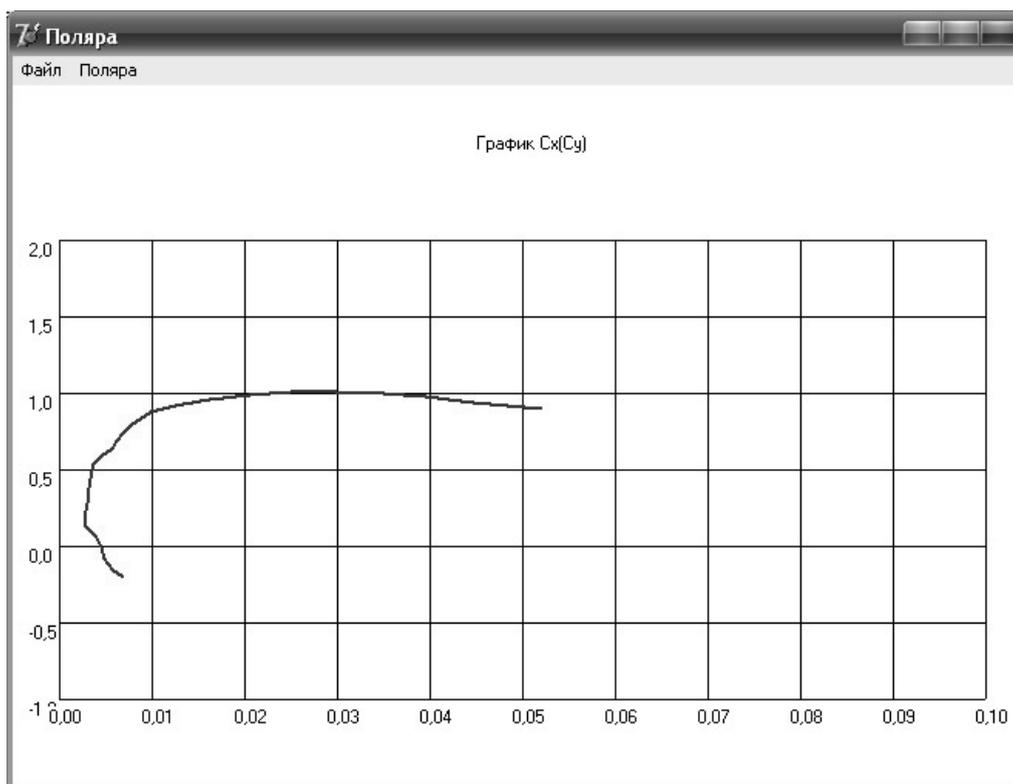


РИС. 1. Поля скоростей и давлений в программном пакете ANSYS



РИС. 2. Профиль НАСА М-10

РИС. 3. Поляра для профиля крыла НАСА М-10 ( $Re = 400000$ )

**Выводы.** Автором разработана программа WIND-UAV, дополняющая коммерческий программный пакет ANSYS/FLOTTRAN, которая позволяет сгенерировать APDL-файл на основе загружаемого чертежа профиля крыла, заданных значений скорости полета и угла атаки. Результатом работы полученного скрипта являются вычисленные значения подъемной силы, силы лобового сопротивления и аэродинамического качества крыла.

Изложенные в работе программные продукты использовались при выборе оптимальной формы профиля крыла БПЛА серии «Беркут», создаваемые в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины для задач монито-

ринга с воздуха зон развития ранних стадий ТЭП типа лесного пожара либо зон наводнений.

1. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Разработка информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по управлению опасными быстропотекающими технологическими происшествиями // Матеріали міжнар. конф. "50 років Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України". – ІК НАН України, Київ, Україна, 2007 24–26 грудня. – С. 214 – 222.
2. *Pisarenko V.G., Varava I.A., Pisarenko Ju.V., Procopchuck V.I.* Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization // XI-th International Conf. "Knowledge – Dialogue – Solution (KDS)". – Varna: FOI-Commerce, 2005. – 2. – P. 427 – 432.
3. *Писаренко Ю.В.* Віртуальне проектування інтелектуалізованих роботів для розвідки і нейтралізації небезпечних екологічних подій: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К., 2005. – 20 с.
4. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Ч. 1 // УСиМ. – Киев. – 2005. – № 4. – С. 8–18.
5. *Писаренко В.Г.* Системний аналіз складних об'єктів. – К.: УкрІНТЕІ, 2009. – 133 с.
6. *Писаренко В.Г., Боюн В.П., Писаренко Ю.В.* Информационная технология оперативного обнаружения и нейтрализации опасных техно-экологических происшествий (ТЭП), близкая к реальному времени // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 11–17.
7. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Информационные технологии управления опасными техно-экологическими происшествиями. – М.: Зодиак, 2007. – 112 с.

Получено 15.10.2010