

УДК 533.69.01

В.В. ЧМОВЖ, И.А. КАЛЕНЮК

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ МВВ А-3

*Проведен сравнительный анализ программных продуктов для построения конечноэлементных сеток Gambit и Pointwise. Выбран пакет для дальнейших исследований сверхкритического профиля МВВ А-3. В рамках выбранного пакета проведено исследование влияния принципов построения сетки на сходимость, а также время решения задач при трансзвуковых режимах обтекания. Исследовано влияние размеров расчетной области на величину аэродинамических коэффициентов. Проведено исследование влияния количества разбиений поверхности профиля на узлы, а также влияние равномерного и неравномерного распределения узлов по поверхности профиля. Исследовано влияние удаленности узлов сетки от исследуемого профиля.*

**Ключевые слова:** сверхкритический профиль, угол атаки, расчетная область, структурированная сетка, сходимость, коэффициент подъемной силы, коэффициент лобового сопротивления

### Введение

В современных условиях при создании летательного аппарата натурный эксперимент имеет достаточно высокую стоимость, поэтому на начальных этапах проектирования все чаще большое внимание уделяется методам вычислительной гидродинамики (CFD-пакетам - Computational Fluid Dynamics). Информация, полученная с помощью таких расчетов, позволяет в некоторых случаях заменить физический эксперимент численным. Однако качество получаемых на основе проведения вычислительного эксперимента результатов напрямую зависит от качества построенной расчетной сетки.

Сейчас существует множество программных продуктов, позволяющих строить структурированные и неструктурированные сетки. Это такие пакеты как Gambit, ICEM, Pointwise, Star CD и другие.

Анализ литературы по теме работы показал, что нельзя выделить конкретный программный продукт для построения расчетной области, которым бы пользовалось большинство авторов. В большинстве случаев авторы стремятся к наибольшему сгущению сетки по нормали к профилю, для того, чтобы получить более точные градиенты скорости и давления в пограничном слое [1-3].

В некоторых работах для уточнения распределения давления в районе скачка уплотнения производится сгущение сетки [4-5]. Данный подход не является универсальным, поскольку при изменении угла атаки и (или) числа Маха скачок уплотнения изменяет свое положение. Таким образом, при ис-

следовании нового профиля сетку необходимо перестраивать и «предсказывать» местоположение скачка уплотнения.

Необходимо отметить, что вышеперечисленные авторы при моделировании обтекания сверхкритических профилей используют структурированные сетки типа «О» и «С». Моделирование турбулентности ими осуществляется в основном при помощи моделей Спаларта-Аллмараса,  $k\omega$ -SST,  $k\varepsilon - v2f$  [1-6].

### 1. Постановка задачи

Рассматривается область вязкого сжимаемого течения вблизи сверхкритического профиля первого поколения МВВ А-3 [7]. Задача рассматривается в двухмерной постановке. Исследование проводится при следующих параметрах: число Маха  $M_\infty = 0,7$ , число Рейнольдса  $Re = 6,2 \cdot 10^6$  для профиля с хордой 1 м. Для обеспечения заданного числа Рейнольдса при заданном числе Маха и заданной хорде профиля параметры атмосферы высоте 9000 м над уровнем моря: температура воздуха –  $T = 229,7$  К, плотность воздуха –  $\rho = 0,4671 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а динамическая вязкость в пересчете через число Рейнольдса была изменена с  $\mu = 1,495 \cdot 10^{-5}$  Па·с на  $\mu = 1,603 \cdot 10^{-5}$  Па·с. Численные расчеты проводятся на структурированной сетке для углов атаки, равных  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ . Используется однопараметри-

ческая модель турбулентности Спаларта-Аллмараса.

В работе проводится сравнение двух пакетов для создания сеток – Gambit и Pointwise.

Численные расчеты проводились в CFD-пакете STAR-CCM+.

В результате численных расчетов необходимо определить:

- влияние принципов построения сетки в различных программных продуктах на сходимость и скорость решения задач. На основании данного исследования выбрать программный продукт, в котором в дальнейшем будут строиться расчетные области;

- влияние количества разбиений поверхности профиля на узлы, а также влияние равномерного и неравномерного распределения узлов по поверхности профиля;

- влияние размеров расчетной области на величины аэродинамических коэффициентов, при этом размеры расчетной области изменять от 10 до 100 м;

- влияние удаленности узлов сетки по нормали от исследуемого объекта. Удаление от профиля изменялось от 0,000001 до 0,0001 м.

Целью данного исследования является нахождение оптимальной по параметрам расчетной области для численных исследований профилей в транзвуковом диапазоне скоростей.

## 2. Сравнение пакетов Gambit и Pointwise

### 2.1 Общие черты

Программные продукты Gambit и Pointwise имеют единый интерфейс для создания геометрических моделей и построения сетки.

Импорт геометрии может проводиться из различных CAD - пакетов в форматах - Parasolid, STEP, ACIS, IGES и др.

Преимуществом обеих программ является возможность импорта текстового файла с расширением \*.dat, в котором содержатся координаты точек исходного профиля. Данная функция позволяет отказаться от промежуточного построения геометрии объекта в CAD - пакетах. Необходимо отметить, что для более точного построения геометрии загружаемый файл должен иметь не менее 130 точек на верхней и нижней поверхностях профиля, со сгущением к передней кромке для наилучшей ее аппроксимации.

Оба программных продукта обладают возможностями для создания двухмерных и трехмерных расчетных областей непосредственно внутри программы, начиная от построения линий и сплайнов, заканчивая созданием твердотельных объектов.

И Gambit и Pointwise обладают генератором сеток, который позволяет создавать разнообразные типы сеток: структурированную гексаэдральную сетку, а также автоматическую (неструктурированную) гексаэдральную и тетраэдральную сетки.

### 2.2 Отличия программных продуктов

#### 2.2.1 Gambit

При создании расчетной области с помощью программы Gambit в процессе его использования производится запись всех операций построения в текстовый файл (журнал событий). Это дает возможность легко отслеживать путь создания геометрической модели, исправлять ошибки, перестраивать модели и сетки, а также интегрировать результаты в другие программы. После построения сетки пользователь имеет возможность проверить ее качество по разнообразным параметрам.

При построении двухмерных сеток в программном продукте Gambit проще всего строится сетка типа «С» (рис.1), время, необходимое для построения сетки составляет 15-20 минут.

Одним из главных недостатков программного продукта Gambit является его интерфейс, имеющий значительное количество дополнительных настроек. Также одним из недостатков программы является то, что при построении достаточно мелких сеток (при количестве точек на профиле более 500) линии сетки подходят к профилю не по нормали, что при дальнейшем численном моделировании может влиять на результаты расчетов.

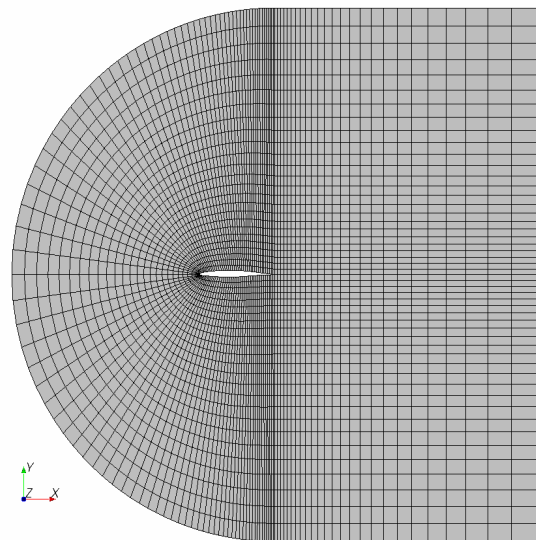


Рис. 1. Сетка типа «С», построенная в Gambit

#### 2.2.2 Pointwise

К достоинствам программного продукта Pointwise можно отнести интуитивно понятный ин-

терфейс. Пакет позволяет легко строить сетки типа «О» и «С». Время, затрачиваемое на построение сетки, занимает 2-4 минуты. На рис. 2 представлена сетка, построенная в программе Pointwise.

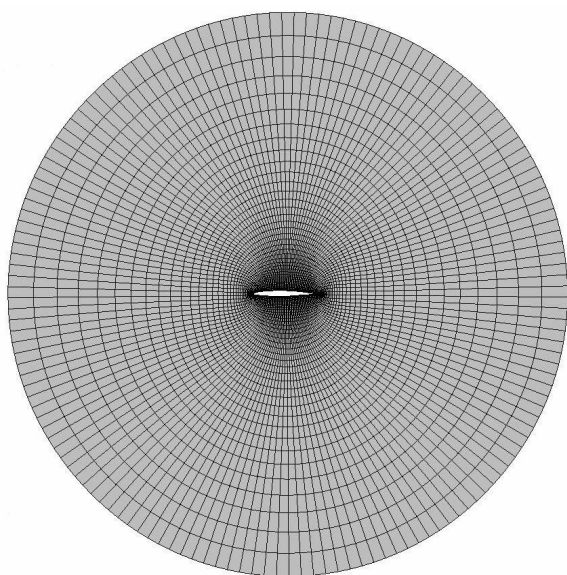


Рис. 2. Сетка типа «О», построенная в Pointwise

### 3. Выбор программного продукта для построения расчетной области

Для того чтобы выбрать программный продукт, в котором в дальнейшем будут проводиться построения расчетных областей необходимо построить сетки в обоих пакетах, затем провести их сравнительный анализ. В результате численных расчетов определить скорость решения поставленной задачи, а также ее сходимости. На основании данных результатов сделать выбор программы.

#### 3.1 Построение сетки

Для построения сетки профиль разбивался на 258 ячеек по верхней и нижней поверхностям, по примеру статьи [3]. В нашем случае размер расчетной области составляет  $258 \times 105$ , что соответствует расстоянию от профиля равному 20 м. Удаление по нормали от профиля составляет 0,0001 м. Узлы стянуты к носовой части профиля, для более точного повторения его геометрии. При построении сетки использовалась геометрическая прогрессия:

$$S_n = b_1 \frac{q^n - 1}{q - 1}, \quad (1)$$

где  $S_n$  – размер расчетной области;

$b_1$  – размер первой ячейки;

$q$  – шаг увеличения ячеек;

$n$  – количество слоев.

В нашем случае коэффициенты равны:  $S_n = 20$  м;  $b_1 = 0,0001$  м;  $q = 1,1$ ;  $n = 150$ .

На рис. 3 представлены табличные значения координат профиля и узлы созданной сетки.

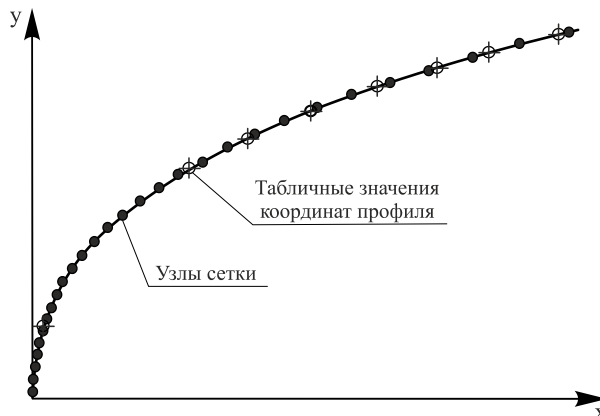


Рис. 3. Табличные значения координат передней кромки профиля и узлы сетки, созданной в программе Gambit

На рис. 4 представлена сетка передней кромки профиля, построенная в программе Pointwise.

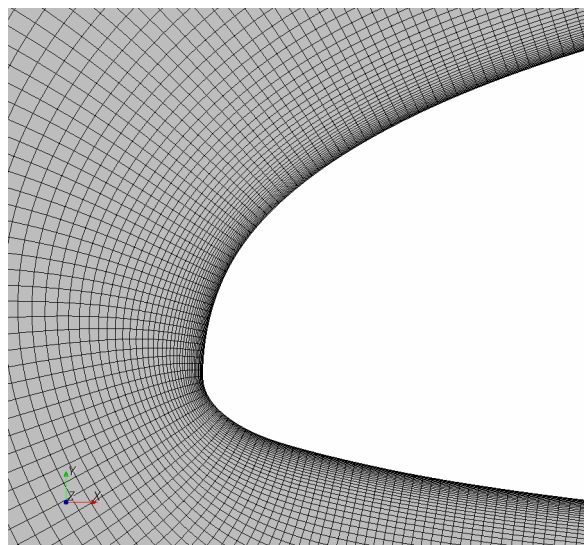


Рис. 4. Сетка передней кромки профиля, построенная в Pointwise

#### 3.2 Численный расчет профиля

После построения сеток в обоих программных продуктах был проведен их численный расчет в пакете STAR-CCM+ при различных углах атаки. Полученные в результате расчета величины аэродинамических коэффициентов, а также количество итераций, за которые была достигнута сходимости решения, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты численного расчета профиля в программах Pointwise и Gambit

Программный продукт	Градусы	Коэффициент лобового сопротивления	Коэффициент подъемной силы	Коэффициент продольного момента	Кол-во итераций
Pointwise	0°	0,0127	0,262	-0,0506	700
-П-	2°	0,0137	0,584	-0,0490	1000
-П-	4°	0,0323	0,938	-0,0398	1500
-П-	6°	0,0719	1,014	-0,0505	2500
Gambit	0°	0,0166	0,299	-0,0545	600
-П-	2°	0,0193	0,645	-0,0500	800
-П-	4°	0,0375	0,970	-0,0463	5000
-П-	6°	Решение не сходится			

На основании построения сеток в обеих программах можно сказать, что намного удобнее строить расчетные области в программном продукте Pointwise.

Данный пакет позволяет создавать сетки с любым количеством разбиений профиля, при этом все линии отходят от него по нормали. Это дает возможность в дальнейших исследованиях подобрать рациональное разбиение профиля на узлы. Программа Gambit не позволяет провести данного исследования.

Также на основании численных экспериментов выяснилось, что при увеличении угла атаки увеличивается время, за которое достигается сходимость результатов; пакет Gambit также не позволяет проводить численных расчетов при углах атаки больше 4°. Данный эффект можно объяснить следующим образом. При больших углах атаки в области за профилем линии сетки совпадают с продольной осью связанной системы координат, а параметры потока задаются в связанной системе координат, т.е. область за задней кромкой не является ортогональной.

В результате проведенного численного исследования можно сказать, что дальнейшее построение расчетных областей будет проводиться в программном продукте Pointwise.

#### 4. Выбор оптимальной сетки расчетной области

##### 4.1 Влияние распределения узлов по поверхности профиля

Для определения окончательного вида расчетной области необходимо выбрать, на каком количестве узлов разбивать сам профиль. Для данного исследования профиль разбивался со следующим шагом:

- 0,01 м со сгущением сетки к краям профиля до 0,005 м;
- 0,001; 0,002; 0,0025; и 0,005 м со сгущением узлов до 0,0005 м и без сгущения узлов,
- 0,0001 м без сгущения узлов.

На рис. 5 и 6 показаны картины равномерного и неравномерного распределения узлов по поверхности профиля при одинаковом количестве точек, равном 200. Из рисунков видно, что при приближении узлов к передней и задней кромкам происходит их точная прорисовка, что может оказывать влияние на величины аэродинамических коэффициентов. Данный эффект подтверждается результатами численного исследования, проведенного для расчетной области диаметром 20 м, с удалением узлов от профиля 0,0001 м, при углах атаки равных 0° – 6°.



Рис. 5. Равномерное распределение узлов по поверхности профиля



Рис. 6. Неравномерное распределение узлов по поверхности профиля

На рис. 7-8 приведены результаты исследования для коэффициента лобового сопротивления и коэффициента подъемной силы в зависимости от распределения узлов по поверхности профиля.

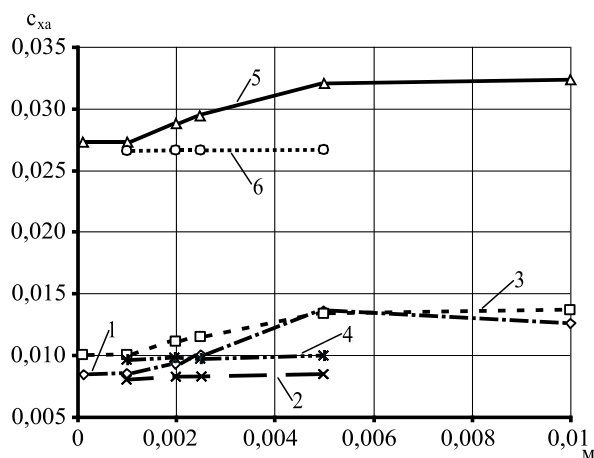


Рис. 7. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от распределения узлов по поверхности профиля:

- 1 – 0° равномерная сетка; 2 – 0° неравномерная сетка; 3 – 2° равномерная сетка; 4 – 2° неравномерная сетка; 5 – 4° равномерная сетка; 6 – 4° неравномерная сетка

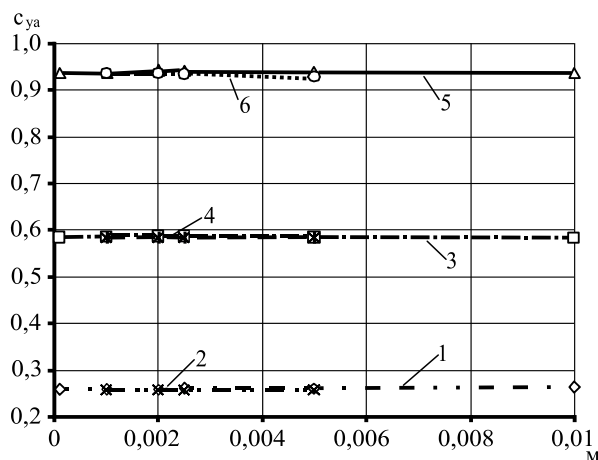


Рис. 8. Зависимость коэффициента подъемной силы от распределения узлов по поверхности профиля:

- 1 – 0° равномерная сетка; 2 – 0° неравномерная сетка; 3 – 2° равномерная сетка; 4 – 2° неравномерная сетка; 5 – 4° равномерная сетка; 6 – 4° неравномерная сетка

Исходя из рис. 7 - 8 можно сказать, что влияние равномерного и неравномерного распределения узлов по поверхности профиля практически не влияет на коэффициент подъемной силы. Что касается ко-

эффициента лобового сопротивления, то влияние сетки оказывается значительным. На рис. 9 представлена его относительная погрешность.

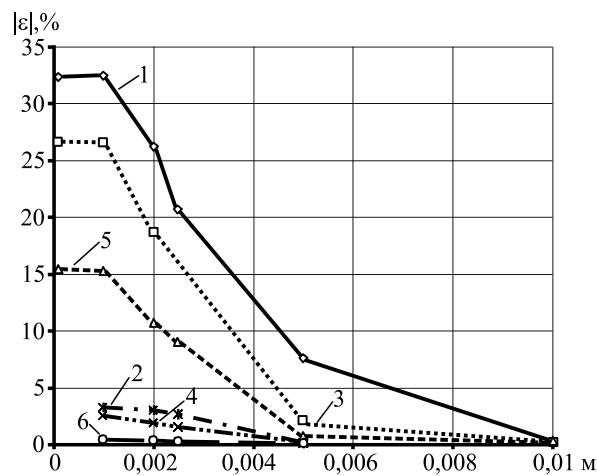


Рис. 9. Относительная погрешность коэффициента лобового сопротивления в зависимости от распределения узлов по поверхности профиля:

- 1 – 0° равномерная сетка; 2 – 0° неравномерная сетка; 3 – 2° равномерная сетка; 4 – 2° неравномерная сетка; 5 – 4° равномерная сетка; 6 – 4° неравномерная сетка

Из рис. 7 - 9 следует, что сетку необходимо строить со сгущением узлов к передней и задней кромкам профиля. В этом случае для коэффициента подъемной силы погрешность в расчетах составляет менее 1%, для любого распределения узлов по поверхности профиля, а для коэффициента подъемной силы – менее 5% для любой сетки со сгущением узлов и для равномерных сеток с шагом 0,004 м и более. Следовательно, для численных расчетов необходимо брать сетку со сгущением узлов к краям профиля с шагом от 0,001 до 0,005 м. При этом необходимо учитывать, что при уменьшении шага будет увеличиваться количество ячеек, а, следовательно, и время расчета. А при увеличении размера шага может ухудшаться точность расчета.

Для дальнейших расчетов была выбрана сетка со сгущением узлов к краям профиля до 0,0005 м с шагом 0,002м.

#### 4.2 Влияние размеров расчетной области

С целью определения влияния размеров расчетной области были построены сетки в диапазоне от 10 до 100 м, со сгущением узлов к краям профиля. Результаты численных расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние размеров расчетной области

Метры	Коэффициент лобового сопротивления	Коэффициент подъемной силы	Коэффициент продольного момента
Угол атаки 0°			
10	0,008428	0,247266	-0,049035
20	0,008182	0,256672	-0,049063
30	0,008105	0,259481	-0,049074
40	0,008064	0,261018	-0,049079
50	0,008040	0,261841	-0,049083
60	0,008022	0,262520	-0,049085
70	0,008008	0,263084	-0,049088
80	0,007997	0,263337	-0,049088
90	0,007993	0,263559	-0,049090
100	0,007980	0,263053	-0,049091
Угол атаки 2°			
10	0,010772	0,560411	-0,047598
20	0,009657	0,582802	-0,046894
30	0,009315	0,589533	-0,046656
40	0,009126	0,593238	-0,046519
50	0,009025	0,595212	-0,046445
60	0,008940	0,596855	-0,046380
70	0,008869	0,598219	-0,046326
80	0,008840	0,598815	-0,046305
90	0,008811	0,599358	-0,046283
100	0,008762	0,600311	-0,046245
Угол атаки 4°			
10	0,026459	0,897354	-0,035531
20	0,026658	0,932744	-0,035941
30	0,026746	0,942934	-0,036153
40	0,026797	0,948443	-0,036279
50	0,026825	0,951429	-0,036351
60	0,026856	0,953829	-0,036435
70	0,026870	0,955726	-0,036492
80	0,026878	0,956506	-0,036483
90	0,026888	0,957311	-0,036509
100	0,026902	0,958750	-0,036545
Угол атаки 6°			
10	0,065469	1,040984	-0,04139
20	0,065242	1,023943	-0,041955
30	0,065214	1,018869	-0,042242
40	0,065147	1,015696	-0,042294
50	0,065088	1,013688	-0,042294
60	0,065053	1,012142	-0,042315
70	0,064993	1,010810	-0,042260
80	0,065085	1,011252	-0,042454
90	0,065078	1,010584	-0,042489
100	0,065064	1,009863	-0,042504

На основании проведенных расчетов можно сказать, что при изменении размеров расчетной области коэффициенты подъемной силы, продольного момента и лобового сопротивления имеют тенденцию к сходимости начиная от 50 - 60 м. Коэффици-

ент продольного момента измеряется относительно 1/4 хорды от носовой части профиля.

На рис. 10 – 12 приведены графики изменения зависимости аэродинамических коэффициентов от размеров расчетной области.

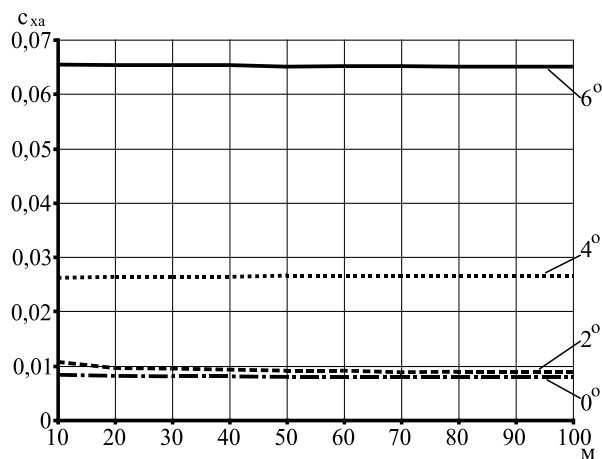


Рис. 10. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от размеров области

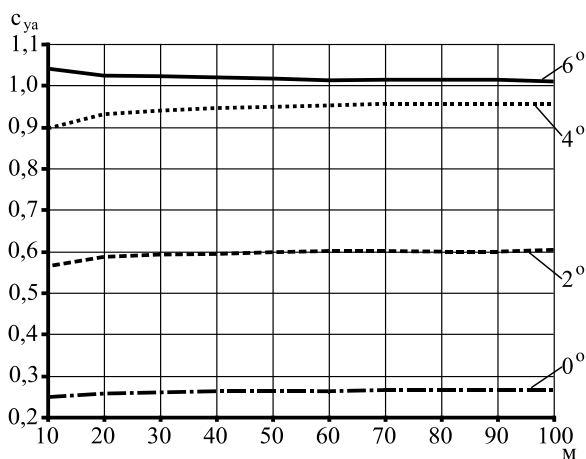


Рис. 11. Зависимость коэффициента подъемной силы от размеров области

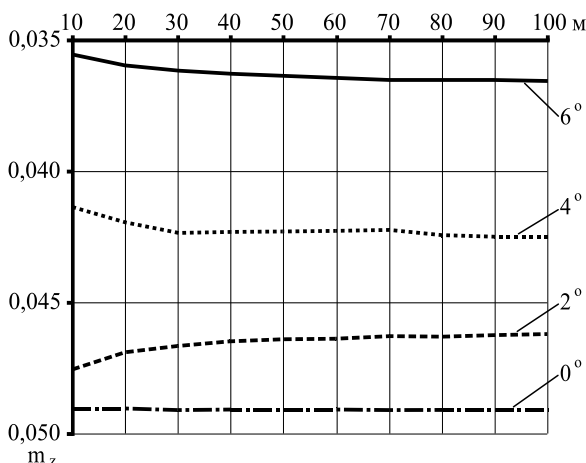


Рис. 12. Зависимость коэффициента продольного момента от размеров области

Из рис. 10 – 12 видно, что начиная с размера области, равного 50 - 60 м, происходит сходимость аэродинамических коэффициентов. Для уточнения изменения величины аэродинамических коэффици-

ентов относительно «установившейся» области необходимо проанализировать их относительную погрешность (рис. 13 – 14).

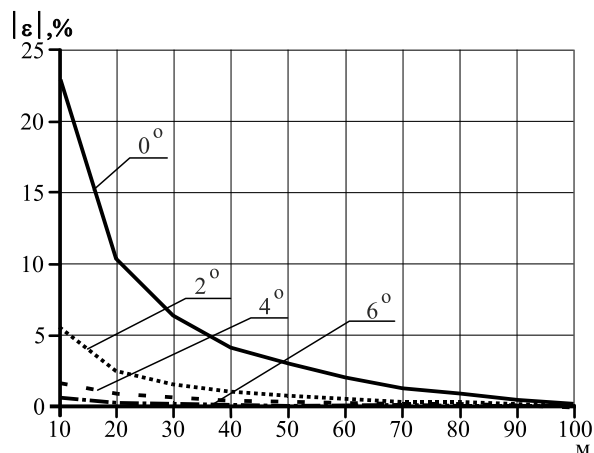


Рис. 13. Относительная погрешность коэффициента лобового сопротивления в зависимости от размеров области

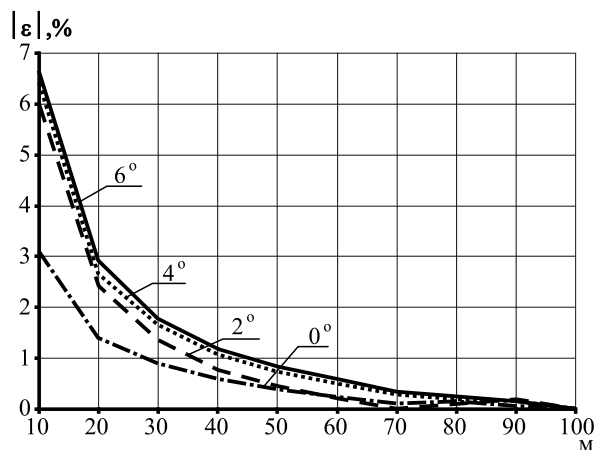


Рис. 14. Относительная погрешность коэффициента подъемной силы в зависимости от размеров области

Основываясь на рис. 10 – 14 можно сказать, что размеры расчетной области значительно влияют на величины аэродинамических коэффициентов. Начиная с сетки размером равным 50 м, погрешность коэффициента лобового сопротивления уменьшается до трех процентов, погрешность коэффициента подъемной силы до одного процента. Для дальнейших исследований сетку будем брать размером 50 м, т.к. с увеличением расчетной области значительно увеличивается количество ячеек, а, следовательно, и время расчета.

### 4.3 Влияние приближения узлов сетки к поверхности профиля

В работе также исследовалось влияние приближения узлов сетки по нормали к поверхности

профиля. Приближение изменялось от 0,000001 м, до 0,0001 м. Результаты численного расчета в пакете STAR-CCM+ представлены в табл. 3.

В результате решения задачи оказалось, что при приближении узлов сетки к поверхности профиля увеличивается коэффициент лобового сопротивления и продольного момента, а коэффициент подъемной силы уменьшается.

Таким образом, на основании проведенных численных расчетов можно сказать, что наиболее оптимальные результаты коэффициента подъемной силы, коэффициента лобового сопротивления и коэффициента продольного момента получаются при удалении сетки от профиля равном 0,00005 м; 0,000001 м и 0,0001 м.

Таблица 3

Влияние удаленности узлов сетки от профиля

Метры	Коэффициент лобового сопротивления	Коэффициент подъемной силы	Коэффициент продольного момента
Угол атаки 0°			
0,000001	0,007845	0,262494	-0,049253
0,00005	0,008040	0,261841	-0,049083
0,00001	0,007783	0,262333	-0,049183
0,0005	0,005950	0,272863	-0,051171
0,0001	0,008123	0,262895	-0,049035
Угол атаки 2°			
0,000001	0,009051	0,596202	-0,046589
0,00005	0,009025	0,595212	-0,046445
0,00001	0,009035	0,596275	-0,046549
0,0005	0,007257	0,612605	-0,048463
0,0001	0,008937	0,597087	-0,046512
Угол атаки 4°			
0,000001	0,026961	0,952532	-0,036534
0,00005	0,026825	0,951429	-0,036351
0,00001	0,026994	0,953749	-0,036614
0,0005	0,027211	0,989817	-0,040961
0,0001	0,026829	0,956694	-0,036762
Угол атаки 6°			
0,00005	0,065088	1,013688	-0,042294
0,00001	0,065562	1,020900	-0,042646
0,0001	0,065490	1,024991	-0,042946

### Выводы

В работе были проанализированы различные пакеты для построения расчетных областей, а исследовалось два программных продукта, которые позволяют строить различные виды расчетных областей. На основании методов построения сеток в каждом пакете, а также численных исследований был выбран пакет для построения сеток – Pointwise.

В выбранном пакете было исследовано влияние распределения узлов по поверхности профиля. В результате расчета было найдено, что сетку необходимо строить со сгущением узлов к концам профиля с шагом от 0,001 м до 0,005 м.

При исследовании влияния величины расчетной области на величины аэродинамических коэффициентов определили, что расчетную область необходимо строить не менее 50 - 60 м, поскольку в этом диапазоне начинается сходимость аэродинамических коэффициентов.

Исследование влияния приближения узлов сетки к поверхности профиля показало, что при увеличении угла атаки сходимость достигается только при размере первого слоя, равного 0,0001 м; 0,000001 м и 0,00005 м. Таким образом, другие исследованные удаления от профиля не подходят для дальнейших расчетов.

На основании проведенной работы при дальнейшем исследовании задач подобного класса при построении расчетных областей можно придерживаться следующих рекомендаций построения сетки в программном продукте Pointwise: равномерное разбиение профиля с шагом от 0,001 до 0,0025 м, сгущение узлов сетки к краям профиля до 0,0005 м для наиболее точной его аппроксимации; задание первого слоя в диапазоне от 0,00005 до 0,00001 м, при этом последующие слои увеличиваются по геометрической прогрессии со знаменателем 1,1. Рекомендуемые размеры расчетной области составляют 50 – 60 метров.



## Литература

1. Comparison of Stochastic Collocation Methods for Uncertainty Quantification of the Transonic RAE 2822 Airfoil [Электронный ресурс] / J.A.S. Witteveen, A. Doostan, T. Chantrasmı, R. Pecnik, G. Iaccarino. Режим доступа к статье: [http://www.stanford.edu/group/uq/pdfs/reports/NODE-SIM\\_WORKSHOP\\_paper.pdf](http://www.stanford.edu/group/uq/pdfs/reports/NODE-SIM_WORKSHOP_paper.pdf).
2. Kelecy F.J. Coupling Momentum and Continuity Increases CFD Robustness / F.J. Kelecy // ANSYS Advantage. – 2008. – Vol. 11, Is. 2. – P. 49-51.
3. Jouhaud J-C. A Kriging Approach for CFD/Wind Tunnel Data Comparison / J-C. Jouhaud, P. Sagaut, B. Labeyrie // Journal of Fluids Engineering. – 2006. – Vol. 126, Is. 4. – P. 847-856.
4. Кудинов П.И. Сравнительное тестирование моделей турбулентности Спаларта-Аллмараса и Ментера на задаче о трансзвуковом обтекании одиночного профиля rae2822 / П.И. Кудинов // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Механіка. – 2004. – Вип. 8, Т.1. – С. 34-42.
5. Ляпунов С.В. Разработка и исследование численных схем высокого порядка точности для решения уравнений газовой динамики на неструктурированных сетках: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.15 / Сергей Владимирович Ляпунов; Воен.-воздух. акад. им. Н.Е. Жуковского. – М., 2008. – 31 с.
6. Субботина П.Н. Применение различных моделей турбулентности для задач внешнего обтекания в программном комплексе Flowvision [Электронный ресурс] / П.Н. Субботина, А.С. Шишаева. – Режим доступа к статье: <http://www.flowvision.ru/content/view/106/3/lang,russian/>
7. Bucciantini G. Supercritical airfoil MBB A-3 Surface pressure distributions, wake and boundary condition measurements / G. Bucciantini, M.S. Oggiano, M. Onorato // Experimental Data Base for Computer Program Assessment. – 1979. – P. A8-1 – A9-1. – AGARD Report AR 138

Поступила в редакцию 1.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук., проф., проф. каф. аэрогидродинамики В.В. Тюрёв, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СІТКИ НА РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБТІКАННЯ НАДКРИТИЧНОГО ПРОФІЛЮ МВВ А-3

*В.В. Чмовж, І.А. Каленюк*

Проведено порівняльний аналіз програмних продуктів для будівництва скінченноелементних сіток Gambit та Pointwise. Було обрано пакет для подальших досліджень надкритичного профілю МВВ А-3. У рамках обраного пакету проведено дослідження впливу принципів будівництва сітки на збіжність, а також швидкість рішення задач при трансзвукових режимах обтікання. Було досліджено вплив розмірів розрахункової області на величину аеродинамічних коефіцієнтів. Проведено дослідження впливу кількості розбиття поверхні профілю на вузли, а також вплив рівномірного і нерівномірного розподілу вузлів по поверхні профілю. Досліджений вплив віддаленості вузлів сітки від досліджуваного профілю.

**Ключові слова:** надкритичний профіль, кут атаки, розрахункова область, структурована сітка, збіжність, коефіцієнт під'йомної сили, коефіцієнт лобового опору.

#### RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE GRID ON RESULTS NUMERICAL MODELLING OF THE FLOW OF SUPERCRITICAL AIRFOIL MBB A-3

*V.V. Chmovzh, I.A. Kalenyuk*

The comparative analysis of software products for construction of finite elements grids Gambit and Pointwise is carried out. The package for the further researches of supercritical airfoil MBB A-3 is chosen. Within the limits of the chosen package research of influence of principles of construction of a grid on convergence, and also time of the decision of problems is conducted at transonic modes of a flow. Influence of the sizes of settlement area on size of aerodynamic coefficients is investigated. Research of influence of quantity of splittings of a surface of a profile on knots, and also influence of uniform and non-uniform distribution of knots on a airfoil surface is conducted. Influence of remoteness of knots of a grid from an investigated airfoil is investigated.

**Key words:** supercritical airfoil, angle of attack, the settlement area, the structured grid, convergence, lift coefficient, drag coefficient.

**Чмовж Віталій Віталєвич** – канд. техн. наук, доцент, заведуючий кафедрою аэрогидродинамики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Каленюк Ирина Анатольевна** – аспирант каф. аэрогидродинамики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.