

УДК 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА СТАНДАРТНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ EPPLER E385 И ЕГО ВАРИАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ИНСТРУМЕНТА АНАЛИЗА ПРОФИЛЕЙ XFLR5

Р. С. Кочкаров

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Аннотация. Проблема ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое аэродинамических профилей вызывает большой интерес исследователей на протяжении уже многих десятков лет. Её важность обусловлена, в первую очередь, необходимостью снижения вязкого сопротивления и сопротивления давлению этих профилей. Целью данной работы является поиск таких геометрических характеристик стандартного профиля Eppler E385, изменение которых привело бы к смещению зоны ламинарно-турбулентного перехода как можно дальше к задней кромке профиля, это позволит получить наиболее ламинарный профиль крыла (то есть с меньшим лобовым сопротивлением).

Ключевые слова: аэродинамический профиль, ламинарно-турбулентный переход, программное обеспечение XFLR5, число Рейнольдса.

DETERMINATION OF A LAMINAR-TURBULENT TRANSITION POINT OF THE EPPLER E385 AIRFOIL AND ITS VARIATIONS USING THE XFLR5 AIRFOIL ANALYSIS SOFTWARE TOOL

Ramazan S. Kochkarov

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Abstract. The problem of laminar-turbulent transition in the boundary layer of aerodynamic profiles has been of great interest to researchers for many decades. Its importance is primarily due to the need to reduce the viscous resistance and pressure resistance of these profiles. The work objective is to search for such geometric characteristics of the standard Eppler E385 profile, the change of which would lead to the displacement of the laminar-turbulent transition zone as far as possible to the trailing edge of the profile. This will allow obtaining the most laminar wing profile (that is, with less drag).

Keywords: airfoil, laminar-turbulent transition, XFLR5 software, Reynolds number.

Введение. Известно, что при обтекании воздухом крыла при различных числах Рейнольдса течение потока воздуха (воздушные струйки), огибающего профиль крыла, имеет три типа: ламинарное, переходное и турбулентное.

В практике подбора профилей для крыла (винта) большую роль играет точка отрыва пограничного слоя, в некоторых случаях зона (область) перехода пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное на верхней поверхности профиля. Известно, что эта область перехода оказывает существенное влияние на лобовое сопротивление профиля (его вязкую составляющую): чем дальше эта область смещена в сторону задней кромки профиля, тем более профиль ламинарный, значит, с меньшим лобовым сопротивлением [1, 2].

Помимо графических и табличных данных, полученных при испытаниях в аэродинамических трубах, существуют прикладные программы с базами данных по геометрическим и аэродинамическим характеристикам профилей, позволяющие при различных числах Рейнольдса определять аэродинамические характеристики и зоны ламинарно-

турбулентного перехода [3–6]. Следует отметить, что эти программы дают возможность модернизировать некоторые геометрические характеристики профиля (например, относительные максимальные значения кривизны и толщины, положений относительных максимальных значений кривизны и толщины), это помогает моделировать геометрические характеристики профиля, добиваясь снижения его аэродинамического сопротивления. Поэтому автор ставит задачу найти такие геометрические характеристики стандартного профиля Eppler E385, изменение которых привело бы к смещению зоны ламинарно-турбулентного перехода как можно ближе к задней кромке профиля.

Основная часть. В данном исследовании определяется положение точки ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности стандартного профиля Eppler E385 и его различных вариаций с использованием программного средства анализа профиля XFLR5. Для исследования был выбран стандартный профиль Eppler E385. Выбор производился из пяти профилей путем анализа аэродинамических характеристик каждого в программном средстве XFLR5. Затем геометрические характеристики этого профиля изменялись, по полученным результатам были построены графики.

Исследование процессов ламинарно-турбулентного перехода стандартного профиля E385 и его вариаций проведены в программном инструменте анализа профилей XFLR5 [5]. Форма и основные геометрические характеристики профиля E385 представлены на рис. 1.

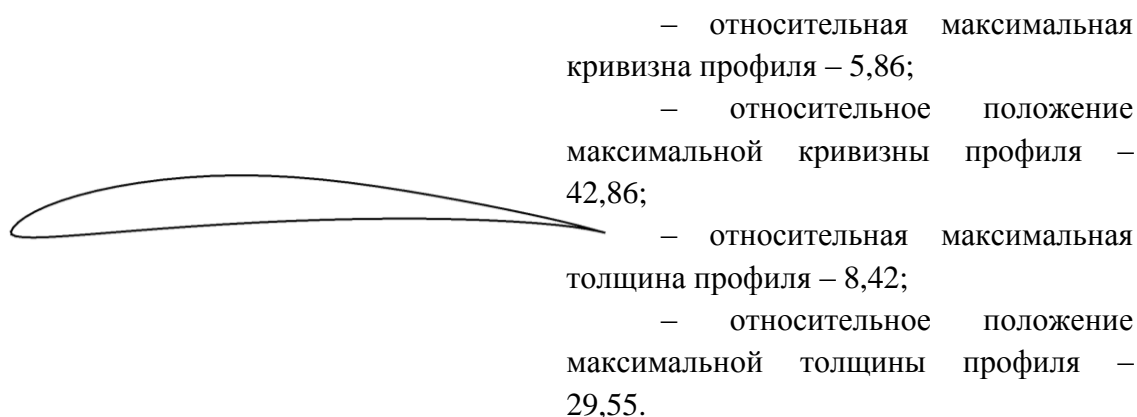


Рис. 1. Аэродинамический профиль E385 и его основные геометрические характеристики [5]

Исследование ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности (Upper Trans) профиля E385 при положительном угле атаки 3° осуществлялось путём уменьшения и увеличения:

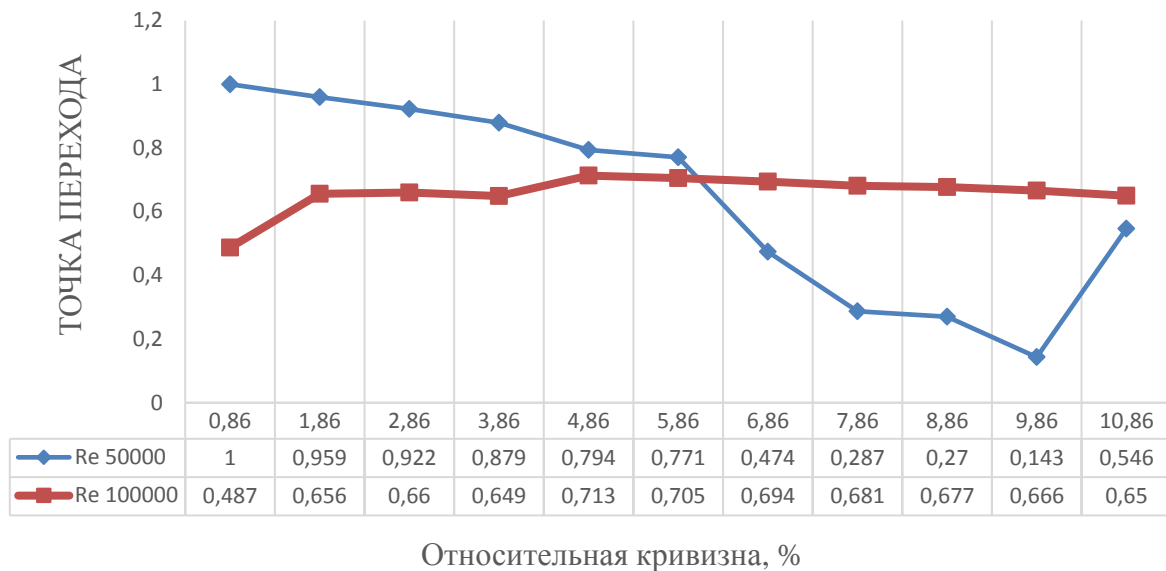
– относительных максимальных кривизны и толщины профиля в пределах 1–5 % с шагом 1 % от исходных значений;

– относительных положений максимальной кривизны и толщины профиля в пределах 1–15 % с шагом 1 % от исходных значений.

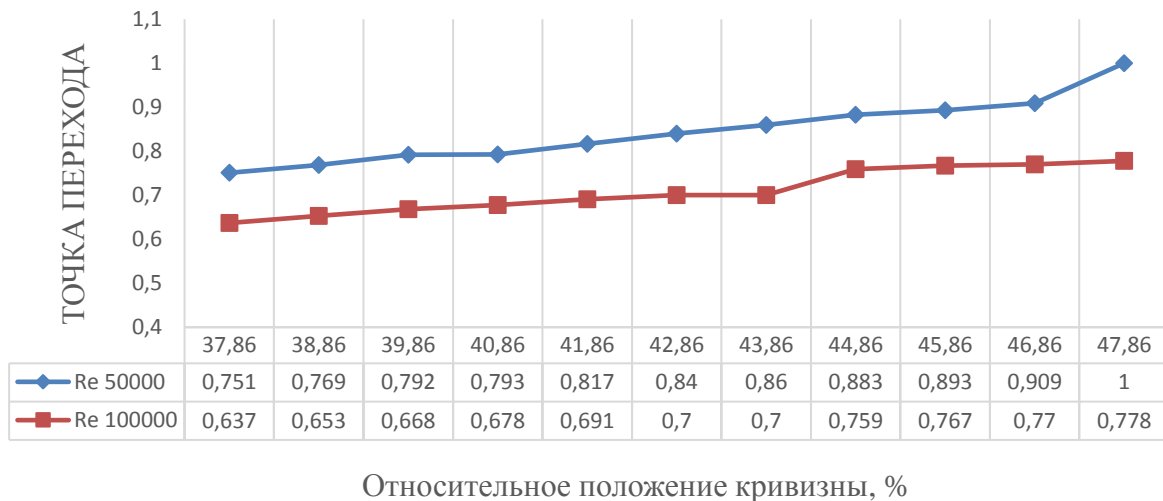
Для каждого из приведённых выше вариантов расчёт проводился при числах Рейнольдса 50 000–1 000 000. Однако, как свидетельствуют данные в программном инструменте анализа профилей XFLR5, наилучшие показатели выявлены при числах Рейнольдса 50 000 и 100 000. Результаты ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности (Upper Trans) стандартного профиля E385 и его вариаций представлены на графиках (рис. 2).

Анализируя определённые значения точек перехода при числах Re 50 000 и 100 000, обозначенные на графиках, можно увидеть, что наибольшее смещение ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности (Upper Trans) стандартного профиля E385 и его вариаций к задней кромке достигается при исходных значениях относительного положения максимальной

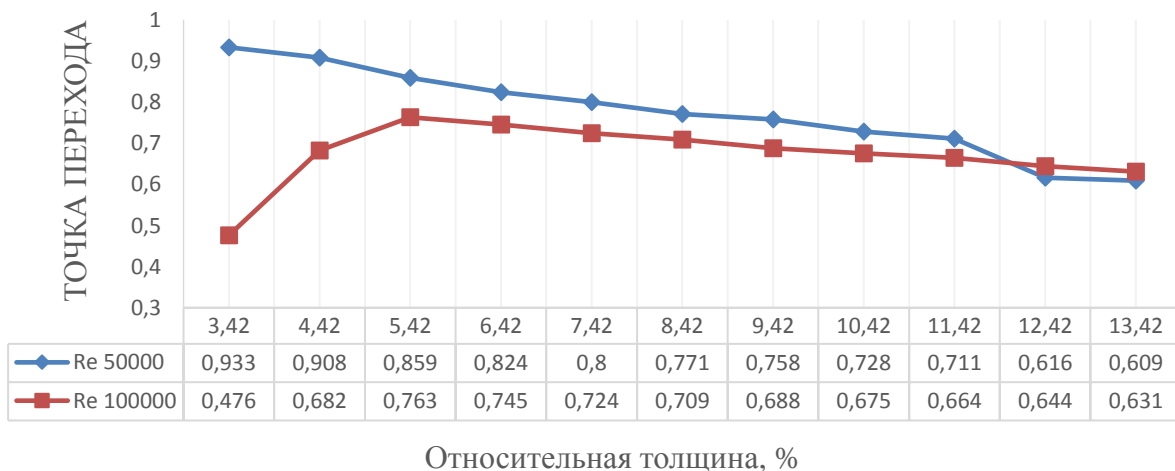
кривизны профиля (42,86 %), его максимальной толщины (8,42 %), относительного положения максимальной толщины (29,55 %) и уменьшения максимальной кривизны на 5 %. Профиль с такими параметрами является самым ламинарным.



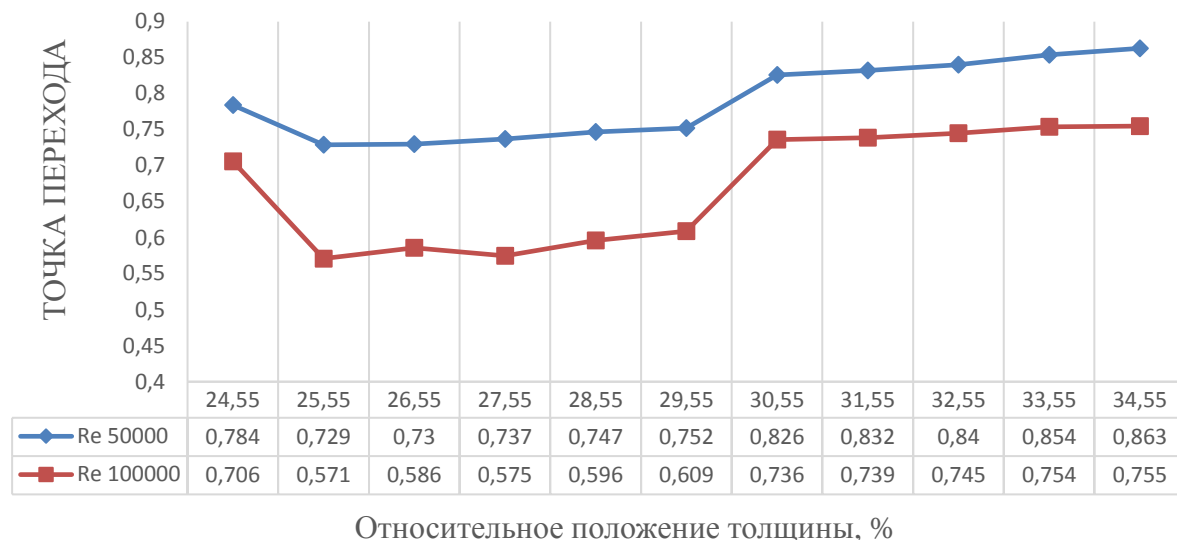
а)



б)



в)



з)

Рис. 2. Графики положения ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности (Upper Trans) стандартного профиля E385 и его вариаций: а) графики изменения положения точки ламинарно-турбулентного перехода при изменении относительной кривизны профиля; б) графики изменения положения точки ламинарно-турбулентного перехода при изменении относительного положения кривизны профиля; в) графики изменения положения точки ламинарно-турбулентного перехода при изменении относительной толщины профиля; г) графики изменения положения точки ламинарно-турбулентного перехода при изменении относительного положения толщины профиля (составлены автором)

Заключение. Автором данного исследования определены положения точки ламинарно-турбулентного перехода на верхней поверхности стандартного профиля Eppler E385 и его различных вариаций. Кроме того, показано, что с использованием программного инструмента анализа профилей, изменяя геометрические характеристики профиля, можно добиваться получения более ламинарного профиля, то есть с наименьшим лобовым сопротивлением, в результате отпадает необходимость прибегать для этой цели к дорогостоящим натурным экспериментам.

Библиографический список

1. Устинов, М. В. Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое (обзор). Часть 2. Расчет положения перехода и методы ламинаризации обтекания крыла / М. В. Устинов // Ученые записки ЦАГИ. — 2014. — № 6. — С. 3–27.
2. Ламинарно-турбулентный переход на крыльях с ламинаризованным профилем LV6. 1. Переход в естественных условиях / В. А. Власов, С. В. Жигулев, А. И. Иванов [и др.] // Ученые записки ЦАГИ. — 2011. — Т. X, № 5. — С. 10–27.
3. Кашафутдинов, С. Т. Атлас аэродинамических характеристик крыловых профилей / С. Т. Кашафутдинов, В. Н. Лушин. — Новосибирск : Сибирский НИИ авиации им. С. А. Чаплыгина, 1994 — 75 с.
4. Фролов, В. А. Аэродинамические характеристики профиля и крыла : учебное пособие / А. А. Фролов. — Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007 — 47 с.
5. XFLR5 / xflr5.tech : [сайт]. — URL: <http://www.xflr5.tech/xflr5.htm> (дата обращения: 12.12.2022).
6. The history of Profili, Profili XT and Profili Pro / IsiPlot : [website]. — URL: <https://www.profil2.com> (дата обращения: 12.12.2022).



Об авторе:

Кочкаров Рамазан Сосланбекович, студент кафедры «Авиастроение» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), kochkarovramaza@mail.ru

About the Author:

Kochkarov, Ramazan S., student of the Aircraft Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), kochkarovramaza@mail.ru