

Режим планирования. Где клеить турбулизатор? .

В последнее время на крыльях свободнолетающих моделей стали применяться слабоизогнутые профили. Малая вогнутость профиля позволяет получить низкое лобовое сопротивление при нулевой подъемной силе. Для моделей планеров и таймерных моделей это очень важный параметр, так как именно на этом режиме происходит вертикальный старт этих моделей. И чем меньше лобовое сопротивление, тем большую начальную высоту сможет набрать модель. Но не маловажным остается и режим планирования. То есть аэродинамический профиль должен иметь высокий коэффициент мощности. Коэффициент мощности это отношение коэффициента подъемной силы в степени $3/2$ к коэффициенту лобового сопротивления. Чем выше коэффициент мощности, тем ниже вертикальная скорость планирования. Современные программы аэродинамического расчета позволили конструкторам спроектировать аэродинамические профили с достаточно высокими характеристиками. Также следует отметить, что на режиме планирования обтекание крыла модели происходит в переходной области чисел Рейнольдса. При таких числах Re для улучшения аэродинамических характеристик в некоторых случаях имеет смысл применять турбулизатор на верхней поверхности крыла. Почему в некоторых случаях? Потому что это справедливо только для «плохообтекаемых» тел. Турбулизатор позволяет раньше турбулизировать пограничный слой, а так как турбулентный пограничный слой труднее отрывается, то это позволяет отодвинуть точку отрыва пограничного слоя дальше по потоку и создать более плавное обтекание и, тем самым, увеличить коэффициент мощности. Для аэродинамических профилей показатель «плохообтекаемости» зависит от многих параметров: положение и значение максимальной относительной вогнутости профиля, относительная толщина профиля, угол атаки на котором происходит обтекание и число Re . У свободнолетающих моделей наиболее распространенным видом турбулизатора является нитка, наклеенная на верхней поверхности крыла, на некотором расстоянии от передней кромки (обычно 5-7% хорды). Расчеты показали, что положение турбулизатора в этом месте для слабоизогнутого профиля не всегда приводит к увеличению аэродинамических характеристик на наивыгоднейшем угле атаки (угол атаки, соответствующий минимальной вертикальной скорости). В таком случае закономерно встает вопрос «А где же собственно клеить турбулизатор?»¹. Попробуем ответить на этот вопрос и проведем численный эксперимент.

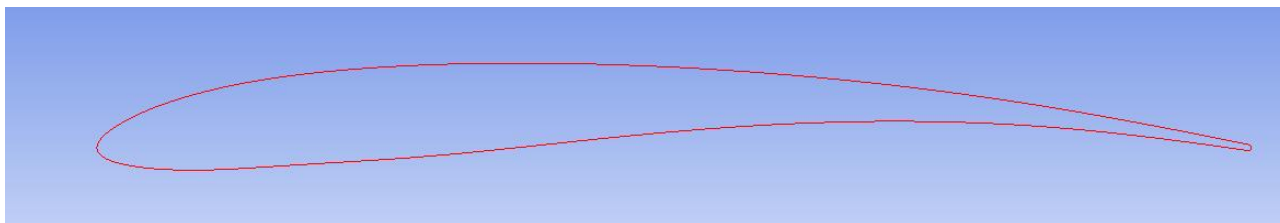


Рис. 1. Профиль AS-08.

¹ Совсем отказываться от турбулизатора не рекомендуется, так как некоторые запуски модели с крылом без турбулизатора показали высокую степень боковой колебательной неустойчивости.

В качестве объекта для испытаний выберем слабоизогнутый профиль AS-08 (рис.1). Будем рассматривать двумерное обтекание профиля. Параметры набегающего потока следующие: плотность 1.185 кг/м³, температура +25°C, кинематическая вязкость 1.183e-5 м²/с, степень турбулентности 5%, относительная вязкость 0.1. Хорда профиля – 131 мм. Скорость набегающего потока соответствует числам Re: 24000, 30000, 40000, 50000. Турбулизатор будет представлять из себя полуокружность с радиусом 0.6мм на верхней поверхности профиля. Положение турбулизатора также будет различным (в процентах от хорды): 5%, 7%, 12%, 17%, 22%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% . Для каждой скорости потока и заданного положения турбулизатора будем определять максимальный коэффициент мощности. Аэродинамический расчет характеристик будем проводить с помощью модели Менгера с учетом ламинарно-турбулентного перехода. Результаты расчета представим в виде графика (рис.2).

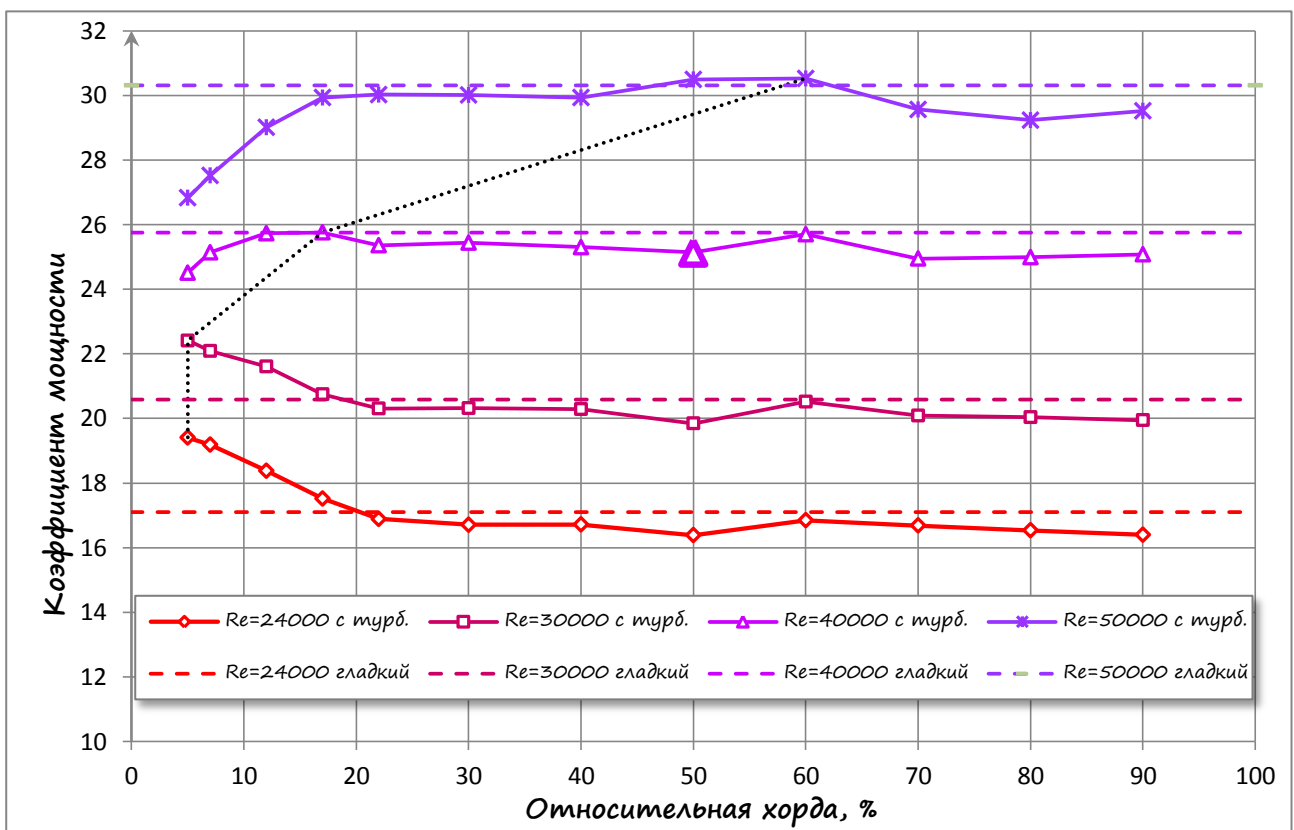


Рис. 2. Максимальные коэффициенты мощности профиля AS-08 для различных положений турбулизатора и чисел Рейнольдса.

По горизонтальной оси откладывается положение турбулизатора в процентах хорды. По вертикальной оси откладывается максимальное значение коэффициента мощности, которое достигается при выбранном положении турбулизатора. Сплошные линии относятся к профилю с турбулизатором, пунктиром показан максимальный коэффициент мощности гладкого профиля и заданного числа Re.

Каждая кривая соответствует какому-либо одному числу Рейнольдса. Например, при наклеивании турбулизатора на 50% хорды на профиле AS-08 и скорости потока Re=40000 максимальный коэффициент мощности составил 25.1 (на рис.2 эта точка выделена увеличенным размером). Выбрав на каждой из четырех кривых

максимальное значение и соединив их (черная пунктирная линия на рис. 2) мы получим наивыгоднейшее положение турбулизатора для режима планирования в зависимости от числа Re . Как видим при малых числах Re наивыгоднейшее положение турбулизатора находится вблизи передней кромки. С увеличением числа Re наивыгоднейшее положение турбулизатора смещается дальше по потоку. Также из рис. 2 видно, что при более высоких числах Re эффект увеличения коэффициента мощности профиля от применения турбулизатора практически не заметен.

При расчетах оказалось, что наивыгоднейший угол атаки составляет 6-7 градусов. Меньшее значение соответствует более переднему положению турбулизатора, большее значение – более заднему положению. Рассмотрим картины обтекания на этом угле атаки вблизи гладкого профиля и профиля с оптимальным положением турбулизатора. Для скорости потока $Re=24000$ максимальный коэффициент мощности гладкого профиля составляет 17.1 на угле атаки 7 градусов. Наивыгоднейшее положение турбулизатора для этой скорости составляет 5% от передней кромки. При этом достигается коэффициент мощности 19.4 на угле атаки 6 градусов. Увеличение характеристики планирования от применения турбулизатора в данном случае составило 12%.

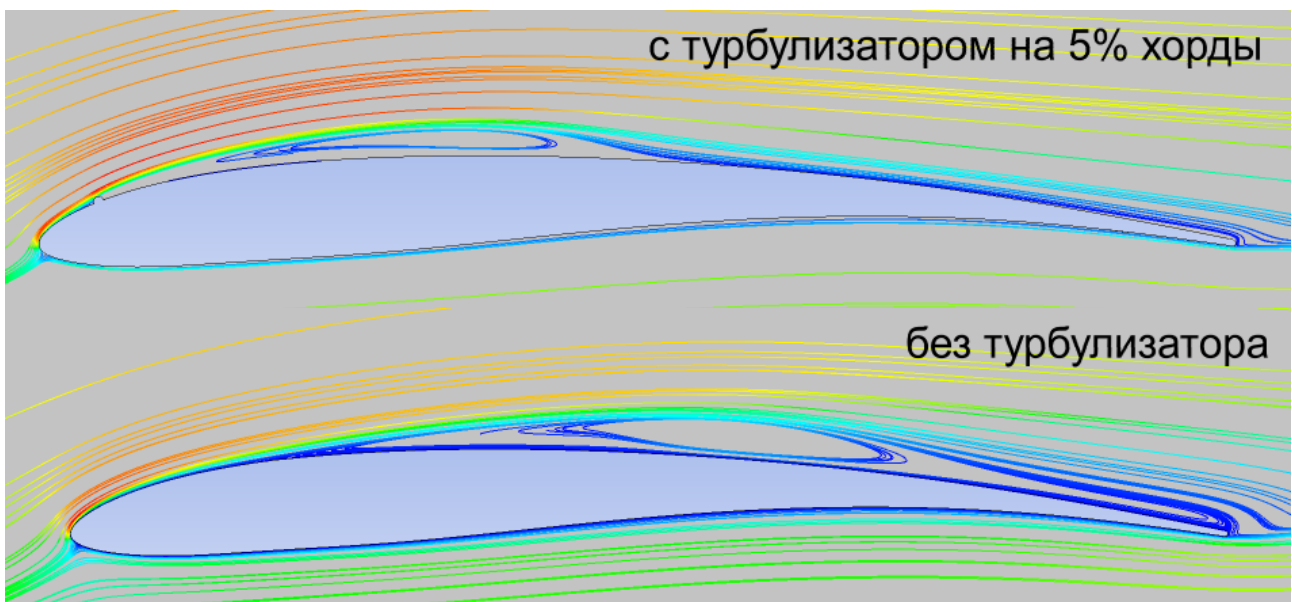


Рис. 3. Обтекание профиля AS-08 на наивыгоднейшем угле атаки ($Re=24000$)

На картине обтекания показаны линии тока. На рис. 3 хорошо видна срывная зона ламинарного «пузыря» (темно-синие линии тока). Синий цвет линий тока показывает, что скорость течения здесь минимальна. Красный цвет линии тока соответствует максимальной скорости. Применение турбулизатора смещает ламинарный «пузырь» ближе к передней кромке. В результате область срыва становится меньше и аэродинамические характеристики увеличиваются.

Картина обтекания для числа $Re=30000$ представлена на рис.4. На гладком профиле в данном случае достигается максимальный коэффициент мощности 20.6 на угле атаки 7 градусов. Наивыгоднейшее положение турбулизатора составляет 5% хорды от передней кромки. Максимальный коэффициент мощности при этом увеличивается до 22.4.

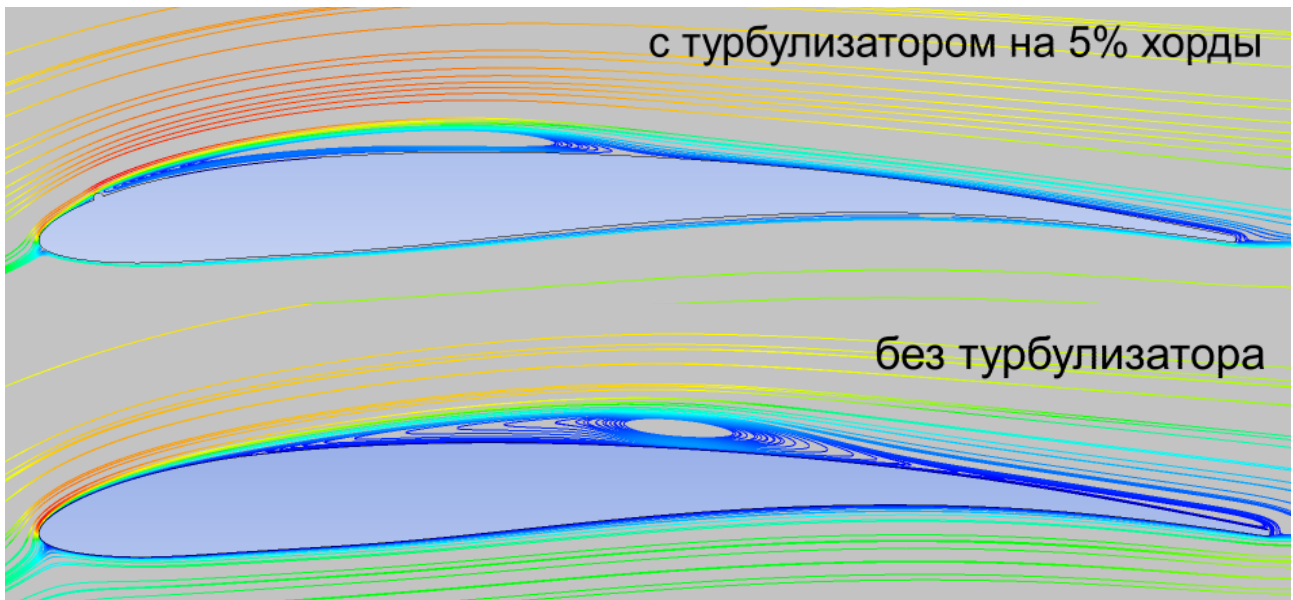


Рис. 4. Обтекание профиля AS-08 на наивыгоднейшем угле атаки ($Re=30000$)

На рис. 5 представлена картина обтекания при числе $Re=40000$. При такой скорости потока положительного эффекта от применения турбулизатора не наблюдается. Если внимательно посмотреть на обтекание профиля без турбулизатора, то можно заметить, что в задней части профиля отсутствует срывная зона, как, например, для числа $Re=24000$ на рис.3. Таким образом, на гладком профиле реализуется достаточно хорошее обтекание, с компактной срывной зоной. Поэтому турбулизатор не оказывает какого-либо существенного влияния и его оптимальное положение находится как раз примерно в точке отрыва ламинарного «пузыря» на гладком профиле.

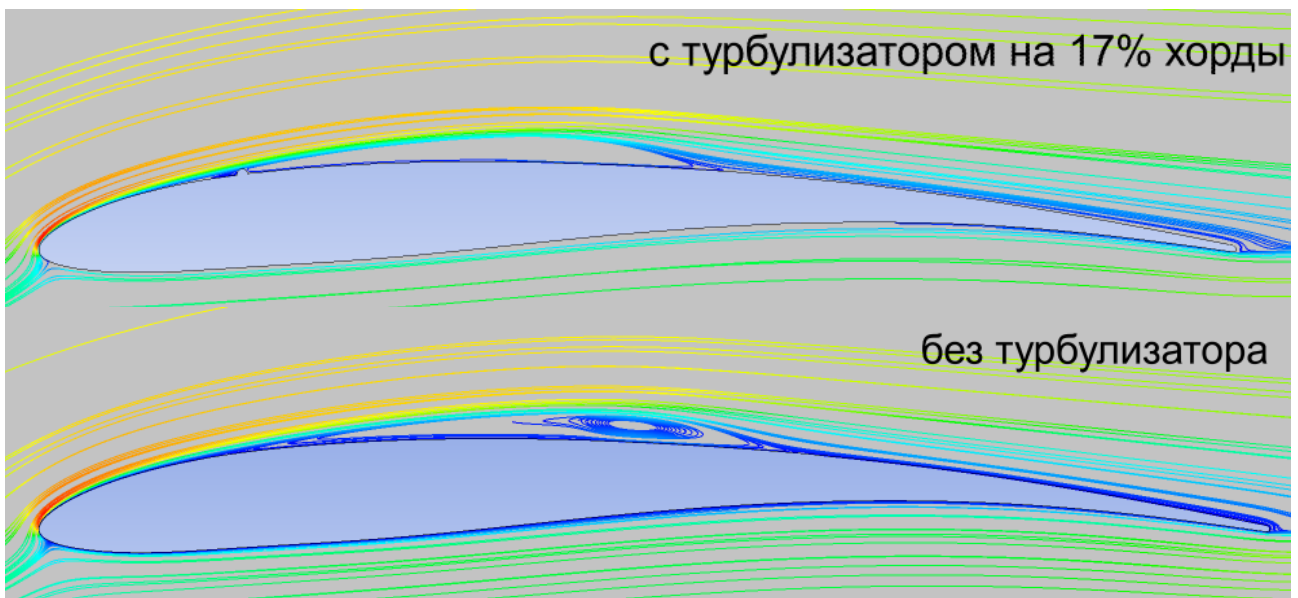


Рис. 5. Обтекание профиля AS-08 на наивыгоднейшем угле атаки ($Re=40000$)

При обтекании на числе $Re=50000$ наивыгоднейшее положение турбулизатора находится на середине хорды профиля. Увеличение максимального коэффициента мощности практически не наблюдается и составило от 30.3 до 30.5. На рис. 6

представлены картины обтекания. Как видим, срывная область в задней части профиля отсутствует и турбулизатор находится внутри ламинарного «пузыря».

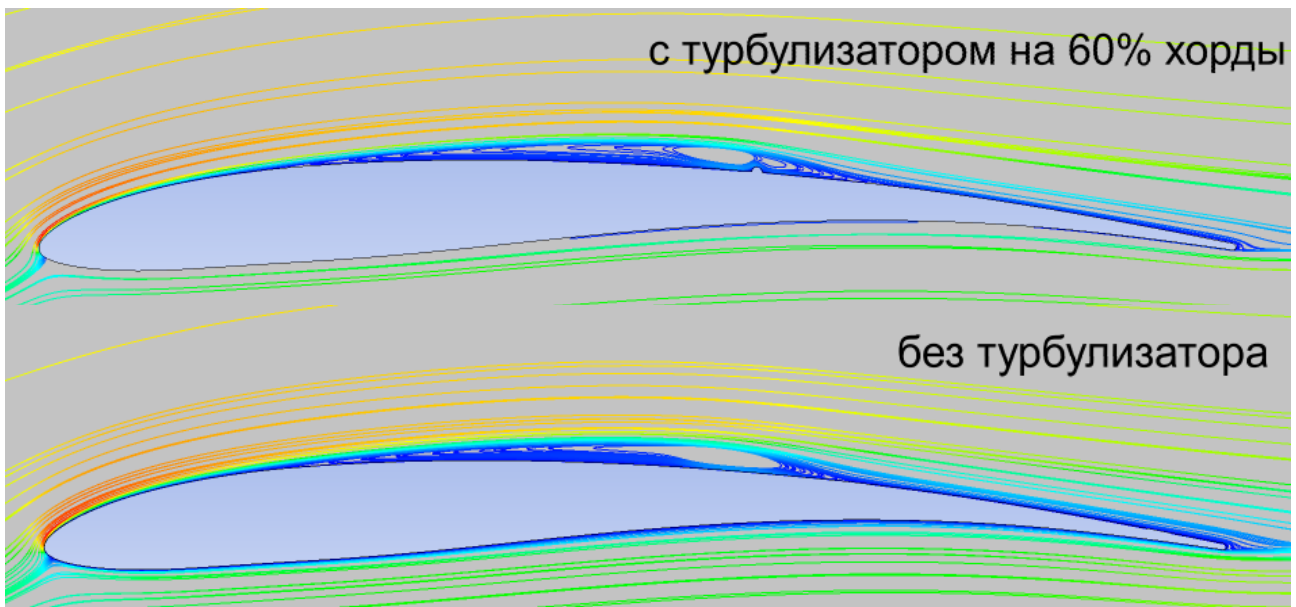


Рис. 6. Обтекание профиля AS-08 на наивыгоднейшем угле атаки ($Re=50000$)

Анализируя результаты и картины обтекания можно сделать вывод, что при малых числах Re необходимо наклеивать турбулизатор ближе к передней кромке. Это позволяет спровоцировать отрыв и более раннее образование ламинарного «пузыря». А это, в свою очередь, улучшает обтекание верхней поверхности профиля и увеличивает коэффициент мощности. С увеличением числа Re эффективность от применения турбулизатора падает, то есть перераспределение положения ламинарного «пузыря» не оказывает положительного результата. Наивыгоднейшее положение турбулизатора оказывается на участке, где у гладкого профиля находится ламинарный «пузырь». Скорее всего именно в этом месте положение турбулизатора вносит минимальный вклад в добавление сопротивления.

Рассмотрим еще 2 вида турбулизаторов, которые применяют на современных моделях. В первом случае наклеивают достаточно толстый турбулизатор (диаметр нити около 1мм) на расстоянии 60% хорды. На рис. 7 представлен профиль AS-08 с таким турбулизатором.

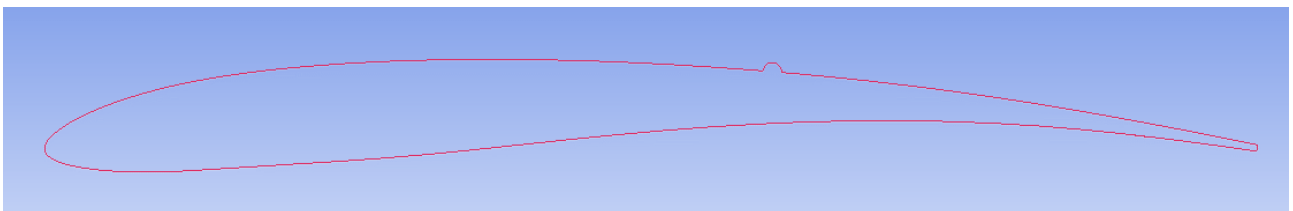


Рис. 7. Профиль AS-08 с турбулизатором 1мм на 60% хорды.

Во втором случае наклеивают четыре нити диаметром 0.4мм на расстоянии 40%, 50%, 60% и 70% хорды (рис. 8).

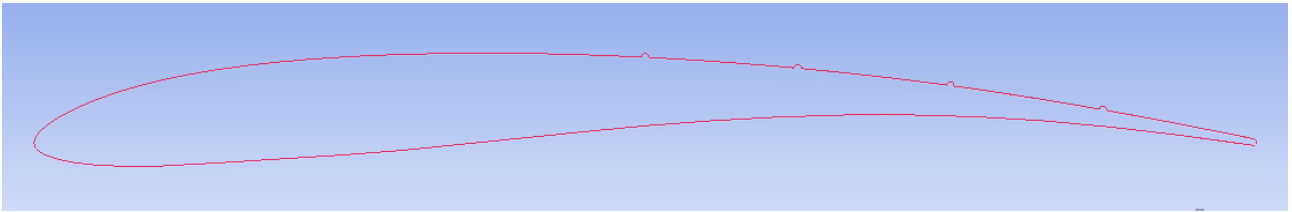


Рис. 8. Профиль AS-08 с четырьмя тонкими турбулизаторами.

Давайте проведем расчеты для профиля AS-08 с такими вариантами турбулизатора и определим максимальные коэффициенты мощности для указанных выше чисел Re . Результаты расчета представлены на рис. 9.

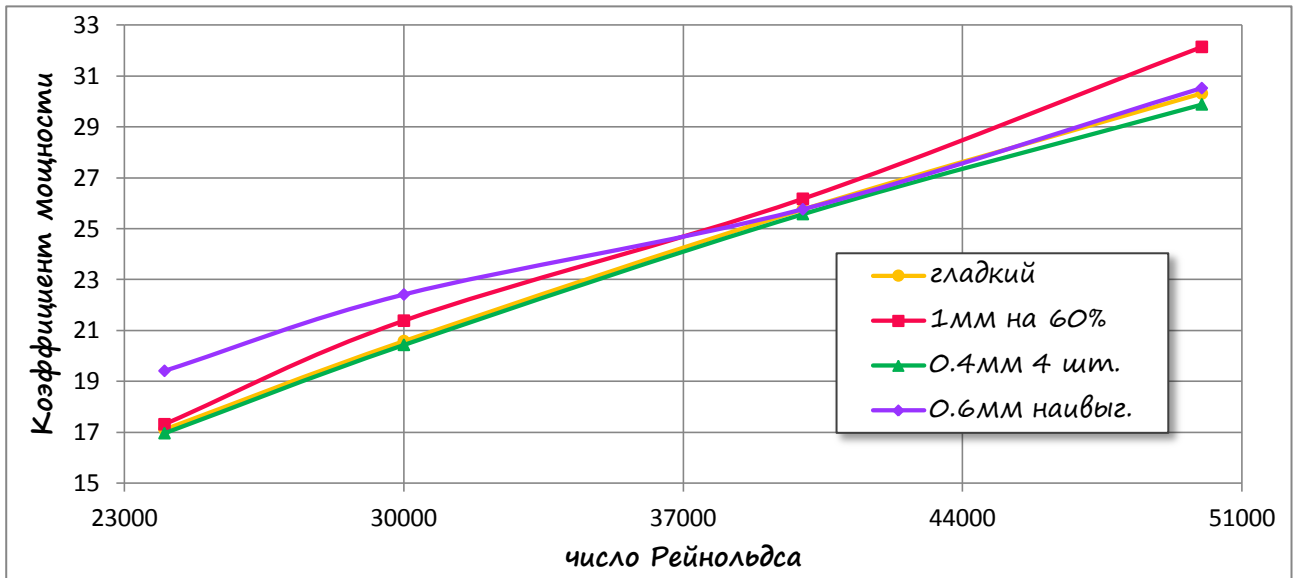


Рис. 9. Максимальные коэффициенты мощности для профиля AS-08.

Также на рис. 9 нанесены графики для гладкого профиля AS-08 без турбулизатора и график максимальных коэффициентов мощности, наивыгоднейших для каждого числа Рейнольдса. В итоге мы получили достаточно интересные результаты. При числах Рейнольдса меньше 37000 выгоднее использовать турбулизатор диаметром 0.6мм на расстоянии 5% хорды от передней кромки. Например, такое обтекание реализуется на «ушах» крыльев планера F-1-A. А вот при числах Рейнольдса больше 37000 выгоднее использовать турбулизатор диаметром 1 мм на расстоянии 60% хорды. Такое обтекание ближе соответствует обтеканию центроплана крыла планера F-1-A.

В данной статье мы рассмотрели влияние различных положений ниточного турбулизатора на верхней поверхности слабоизогнутого профиля на режиме планирования с минимальной скоростью снижения. Правильное применение турбулизатора позволяет улучшить аэродинамические характеристики крыла на 7...12%. Для поиска оптимального турбулизатора для чисел Рейнольдса больше 37000 можно поэкспериментировать с более толстым диаметром нити.

Кирилл Аренев