

СОКРАЩЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ ПУТЁМ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ АКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Джуламанов В.Б., Рафиков Д.М.
Оренбургский государственный университет

Большая часть расходов на энергию для всех видов транспорта (воздушных, наземных, морских) и для многих промышленных и двигательных процессов - это преодоление турбулентного трения. Бюджет для изобретения и развития подходов к решению данного вопроса оценивался в миллиардах, независимо от того, какую валюту страны рассматривают. Подходы к выбору исследований до конца 1970-х годов включали либо контроль ламинарного потока (LFC), который имел довольно серьезные ограничения в отношении применения, либо методы изменения среднего расхода, уменьшение шероховатости, изменение неблагоприятного градиента давления. Исключением было использование композиционных материалов для непосредственного воздействия на область турбулентности.

Турбулентное сокращения сопротивления является одним из ключевых вопросов в аэродинамике, поскольку во многих потоках невозможно устанавливать (поддерживать) ламинарный поток, поэтому некоторое уменьшение бурных уровней сопротивления должно быть рассмотрено. Дополнительные случаи, где контроль ламинарного потока нарушен, включает в себя поверхности с большой шероховатостью, например фюзеляж самолета, а также области загрязнения поверхностей, подвергнутых обходу воздуха, вызывая такие особенности потока, как эрозия, ударное взаимодействие, высокий уровень шума и массовые отток с поверхности.

Поскольку в этих случаях ламинарный уровень недоступен, величина снижения сопротивления не так велика, как в случаях контроля ламинарного потока, но по-прежнему имеет важное технологическое значение (например локальное снижение трения обшивки на 5-30% по сравнению с 50-80% контроля ламинарного потока).

Управление турбулентностью представляет собой еще один класс средств для уменьшения сопротивления трения или, более того, для манипуляция с турбулентным пограничным слоем.

Вихревые генераторы представляют собой другое управление турбулентностью с различной целью. Они были и будут широко использоваться для того, чтобы откладывать разделение пограничного слоя, таким образом, для улучшения низкоскоростных и высокоскоростных характеристик. Механизм состоит в том, чтобы сделать пограничный слой более устойчивым к разделению из-за неблагоприятного градиента давления, создавая поточные вихри вблизи края пограничного слоя, которые «оживляют» поток пограничного слоя. Это происходит за счет дополнительного сопротивления, возникающего в результате увеличения поверхностного трения потока пограничного слоя, а также сопротивления трения и вихревого сопротивления самих генераторных устройств.

Недавно разработанная концепция «умных» вихревых генераторов довольно тесно связана с понятием управления турбулентностью. Основная идея здесь состоит в том, чтобы приостановить разделение, стимулируя развитие (очень) больших вихрей в пограничном слое через небольшие генерирующие устройства с меньшим дополнительным сопротивлением. Для этой цели были предложены как механические, так и пневматические устройства. Понятие «умных» вихревых генераторов достаточно интересно для дальнейшего изучения.

Особый интерес представляет вопрос о том, будет ли он принят с самого начала в качестве дополнительной «переменной» в пространстве проектирования летательного аппарата (а не как «устройство для устранения недостатков», которое применяется впоследствии), потому что генераторы привели бы к лучшим полным аэродинамическим/экономическим показателям.

Снижения турбулентного сопротивления происходит по нескольким методам: активный контроль, пассивный контроль, интерактивное управление. Для активного управления уменьшение турбулентного сопротивления может быть достигнуто путем изменения свойств и поведения потока. Первый может быть реализован путем добавления в поток дополнительных веществ, которые включают частицы, полимерные растворы и поверхностно-активные вещества (называемые «добавками»). Последнее можно сделать, навязывая внешнюю силу и массу, такие как магнитогидродинамический (МГД) контроль и массовое впрыскивание. Пассивное управление, связанное с модификацией стенок, путем изменения структуры и корректировки угла атаки, пассивное управление включает в себя работы с поверхностью ЛА, большим устройством для разведения вихрей, выпуклой кривизной, волнистой стенкой и неблагоприятным градиентом давления.

По сравнению с активным управлением, преимуществом пассивного управления является снижение сопротивления вязкого течения пассивным способом, при котором эффект сокращения сопротивления чрезвычайно отображается при определенных условиях потока. Интерактивное управление определяется как наблюдение когерентной турбулентной структуры и управление турбулентным пограничным слоем путем принятия физических или тепловых действий на поверхностях стен, включает колебания стенок, их нагрев и охлаждение. Интерактивные и активные элементы управления обеспечивают снижение сопротивления в управляемом режиме, подходящем для изменения условий потока, в то время как пассивное управление подходит для расчетных условий из-за пассивного стиля потоков. Учитывая ввод дополнительной мощности или массы, пассивное управление является более энергосберегающим, чем интерактивное и активное управление из-за отсутствия дополнительного ввода.

Среди методов снижения турбулентного торможения, наиболее распространенным методом является сокращение сопротивления. За последние 60-70 лет он широко и интенсивно изучается по широкому кругу аспектов. С точки зрения эффективности сокращения сопротивления изучались поверхности с пря-

моугольной, треугольной, полукруглой, трапециевидной и зубчатой формами. Очевидно, что большинство исследований, проведенных до сих пор, были направлены на снижение турбулентного течения. Широко согласованные многими из соответствующих исследований, показали, что эффект уменьшения сопротивления в турбулентном потоке связан с безразмерной геометрией структур поверхностей.

Уменьшение сопротивления с помощью «Умной поверхности» (рис.1) представляет собой новую предлагаемую композитную поверхность, которая сочетает в себе обшивку с эластичным покрытием. «Умная поверхность», вдохновленная самонастраивающейся кожей морских животных, таких как дельфин, предназначена для изменения традиционной техники поверхности и позволяет ей «ощущать» и взаимодействовать с потоком, регулируя структуру стенок в соответствии с потоком (рис. 1).

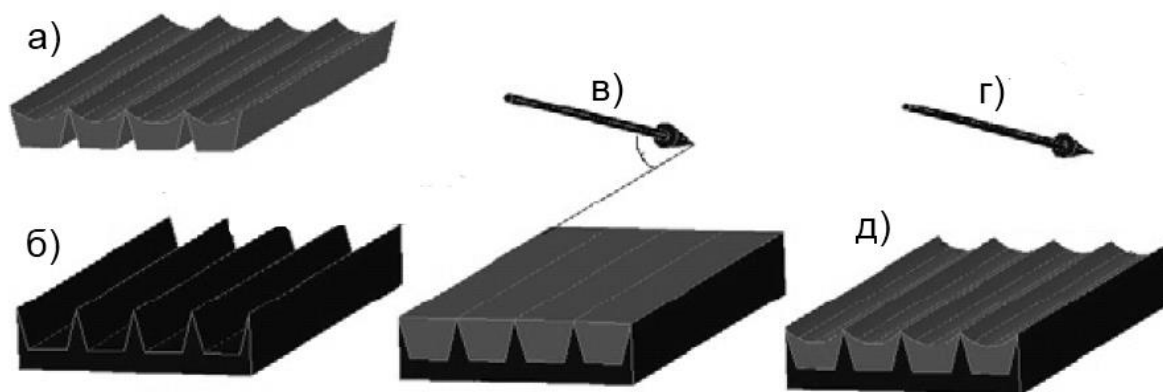


Рисунок 1 – Структура «умной поверхности», где а) эластичное покрытие; б) трапециевидные передние ребра; в) угол атаки; г) направление потока; д) упругое сжатие.

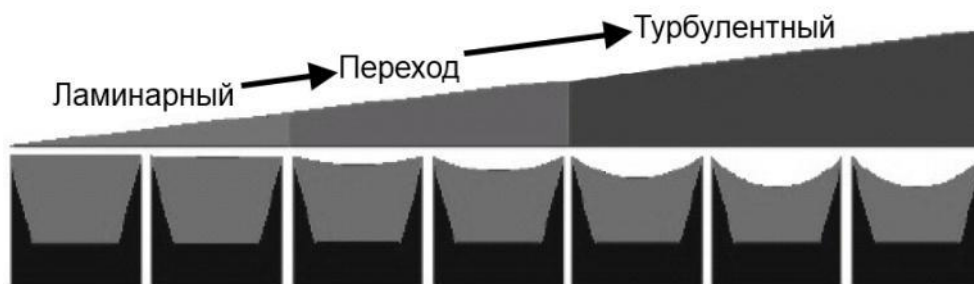


Рисунок 2 - Сжатия при разных режимах потока

Была предложена деформируемая активная обшивка, приводимая в действие активными материалами. Для технологии управления потоком, которая обещает значительное снижение турбулентного сопротивления трения. Были проведены теоретические исследования двух принципов проектирования и были сопоставлены с FEA, чтобы придумать параметризацию амплитуды отклонения и собственной частоты в терминах размеров модели. Было установлено, что эффективность работы схемы активации на основе силы выше, чем эффективность схемы срабатывания по моменту с структурной точки зрения.

Три различных моделей обшивок используют SMA (сплав с памятью формы), пьезоэлектрические С-блок и пьезокерамические стопки для приведения в дей-

ствие соответственно (см. Рисунки 3, 4 и 5). Обычно можно суммировать то, что для приложений, в которых требуемые частоты срабатывания являются низкими (порядка 50 Гц для медленных приложений БПЛА), метод срабатывания на основе SMA имеет наибольшие перспективы, тогда как для приложений с высокими частотами срабатывания (несколько сотен Гц для авиалайнеров и военные самолеты), системы на основе пьезоэлектрического привода будут более уместными. Механизированная кожа на основе кулачкового действия была спроектирована и изготовлена для проверки работоспособности техники снижения сопротивления до фактического развития активной кожи.

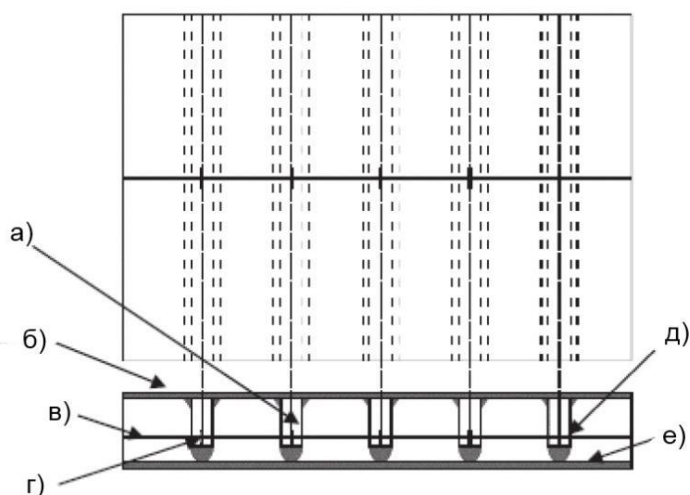


Рисунок 3 - Поперечное сечение и вид сверху SMA приводится в действие активной поверхностью, где а) стойка; б) верхняя поверхность обшивки, подверженная воздействию потока; в) провод SMA; г) соединение 1; д) соединение 5; е) нижняя поверхность обшивки, прикрепленная к поверхности ЛА.

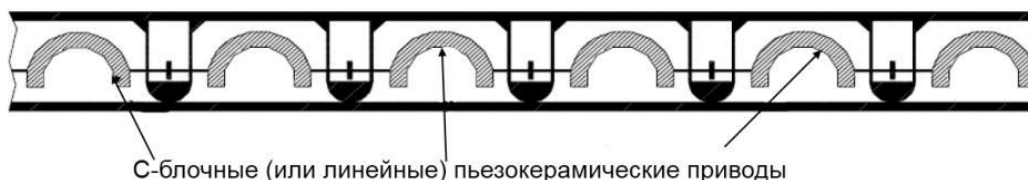


Рисунок 4 – Активная обшивка, приводимая в действия пьезоэлектрическим образом

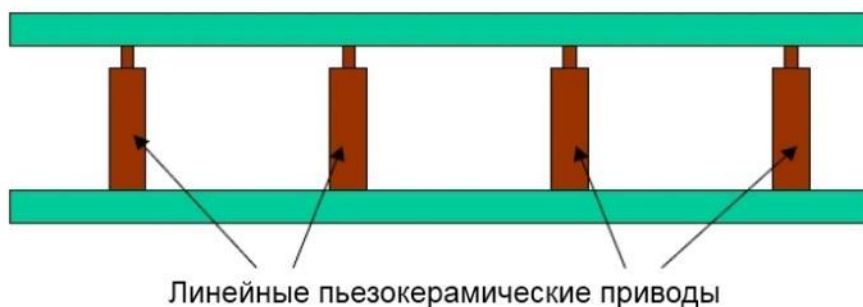


Рисунок 5 - Модель обшивки с линейными пьезоэлектрическими исполнительными механизмами, ориентированными перпендикулярно обшивки.

В концепции гибридного ламинарного потока, всасывания может под-

держиваться приложением в области передней кромки для управления развития перекрестных течений и неустойчивостей Толлмиен-Шлихтинга в сочетании с благоприятными градиентами давления в области лонжерона (рис. 6). Прежде всего необходимо обеспечить, чтобы линия крепления оставалась ламинарной. Чтобы избежать явления загрознения, необходимо использовать устройства для борьбы с загрознением, чтобы избежать загрознения линии крепления турбулентными структурами, идущими из фюзеляжа.

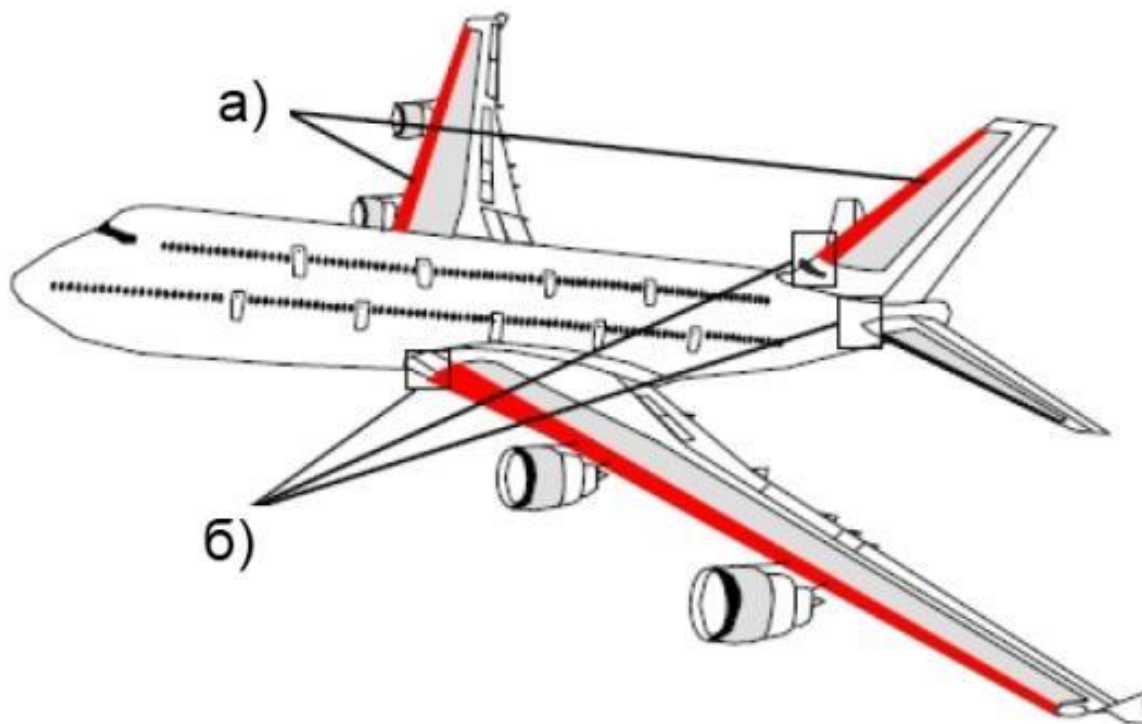


Рисунок 6 - Концепция гибридного ламинарного потока, где а) Поглощение встречного потока, б) устройства для борьбы с загрознением.

Гарет Уильямс из проекта Airbus недавно в своем выступлении отметил, что до сих пор развивались два типа технологии ламинарного потока. Природный ламинарный поток, эксплуатирующий форму и материалы, гибридный ламинарный поток, где активная система индуцирует ламинарность, обычно всасывание (рисунок 7). SFWA исследует потенциал обоих, но сосредотачиваются на естественном ламинарном потоке, поскольку это позволяет избежать признанной сложности и веса для гибридного аналога.

В то время как естественный ламинарный или контроль ламинарного потока традиционно использовался для уменьшения сопротивления дозвуковыми аэродинамическими профилями, наличие новых материалов и технологий изготовления открыли новые перспективы снижения сопротивления за счет управления потоком пограничного слоя.

В то время как естественный ламинарный поток или контроль ламинарного потока традиционно использовался для уменьшения сопротивления до-

звуковым аэродинамическим профилям, наличие новых материалов и технологий изготовления открыли новые перспективы снижения сопротивления за счет управления потоком пограничного слоя. Одним из таких методов, который, по нашему мнению, является гибкий композитный поверхностный детектор, показанный на рисунке 7. Представляет собой микроструктурированную стену, а взаимодействие совместимых стенок с ламинарным, переходным и турбулентным пограничными слоями с нулевым давлением хорошо документировано. Уникальность подхода заключается в том, что он основан на снижении общего аэродинамического сопротивления, помогая поддерживать тонкий слой отделенного потока вблизи поверхности за счет ослабления турбулентного смешивания в этом сдвигаемом слое. Для этого важно наличие разного хордового градиента давления, типичного для аэродинамических поверхностей и обтекаемых аэродинамических тел. FCSD помогает поддерживать ламинарную разделительную пузырьковую структуру потока, за исключением того, что она растянута в большей степени хорды. Таким образом, пузырь ведет себя как проскальзывающий слой к внешнему потоку и может устранить сопротивление трения. Ламинарные пограничные слои имеют более низкое поверхностное трение по сравнению с турбулентными пограничными слоями. Однако продвижение только ламинарного потока не может нейтрализовать трение поверхности. На практике модификация потоков пограничного слоя значительно снижает коэффициенты трения поверхности, о чем свидетельствует ускорение внешнего невязкого потока. Это может помочь увеличить генерацию циркуляции и подъема, подобно лифтовой крышке. Однако такие аэродинамические профили требуют тщательного контроля за переходом. FCSD делает управление перехода менее критичным, тем самым расширяя условия низкого сопротивления до более высоких диапазонов условий полета. Кроме того, ранее проводимые исследования стен проводились главным образом для потоков воды, поскольку механические свойства совместимых поверхностей, реагирующих на воздушные потоки, сделают их чрезвычайно деликатными и, следовательно, непрактичными. FCSD преодолел это ограничение благодаря своей уникальной строительной технике, механизму взаимодействия и интеграции с крылом.

Альтернативный подход к задержке перехода ламинарного потока заключается в том, чтобы в реальном времени определять детали локального возмущения и вводить в локальный поток динамический сигнал, который «отменяет» растущие волны, поэтапно блокированные. Такой подход, очевидно, значительно более сложный с точки зрения практической реализации, чем другие методы, все из которых влияют на средний поток, чтобы снизить темпы роста, а не напрямую влиять на динамику. Дополнительные «стимулирующие» технологии для этого подхода к контролю ламинарного потока включают в себя миниатюризацию обоих процессоров и различных типов датчиков и исполнительных механизмов, которые являются продуктами текущей информационной революции (например микроэлектромеханических систем).

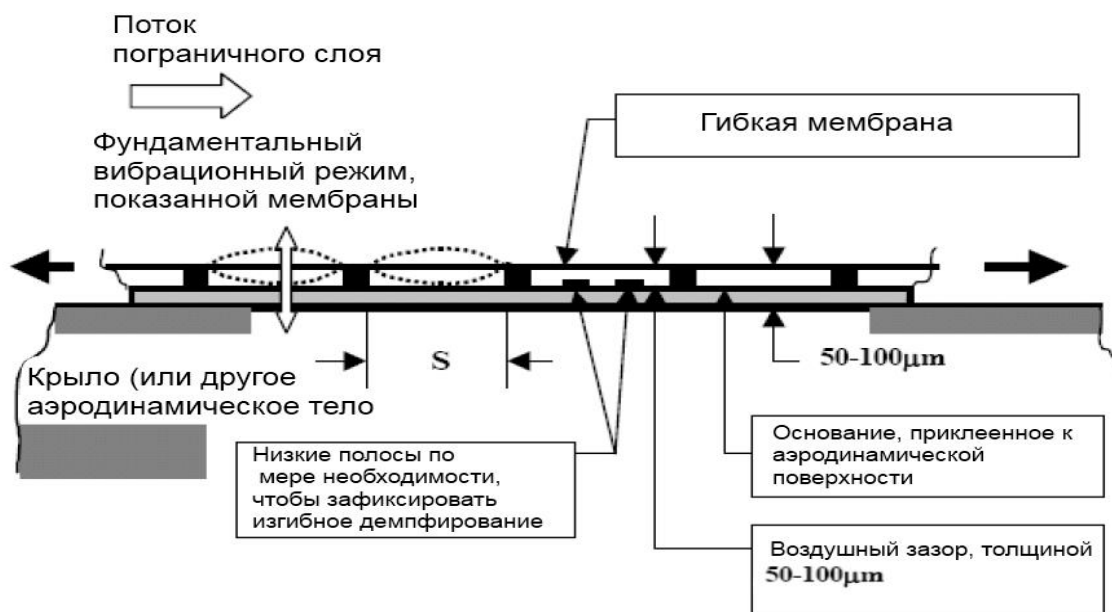


Рисунок 7 – Схема составной силовой поверхности

Список литературы

1. Горбунов, А. А. Математическая модель применяемая в автоматизированном проектировании дополнительных аэродинамических поверхностей крыла воздушного судна / А. А. Горбунов, А. Д. Припадчев - Интернет-журнал «Науковедение». 2014. – №2. – С. 1 – 10.
2. Горбунов А.А. Применение метода линейного программирования при автоматизированном проектировании дополнительных аэродинамических поверхностей / А. А. Горбунов, А. Д. Припадчев - Международный научнопрактический журнал «Программные продукты и системы». – 2012. – №4. – С. 203 – 206
3. Султанов, Н.З. Методические основы оценки эффективности применения воздушных судов на авиационных работах / Н.З. Султанов, Б.А. Портников, Д.И. Сергеев // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. докл. седьмой Росс. науч.-практ. конф./ Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. – С.221...229 [189]
4. Султанов, Н.З. Системное и ситуационное моделирование социально-экономических и производственных объектов / Н.З. Султанов, Б.А. Портников, Д.И. Сергеев //Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. докл. шестой Росс. науч.-техн. конф./ Оренбург: Оренбургский государственных ун-т, 2003. – С. 177...181 [173]
5. Султанов, Н.З. К вопросу повышения эффективности функционирования автотранспортного предприятия с использованием программно-целевого планирования и выбора рациональной структуры парка / Н.З. Султанов, И.И. Любимов, Г.К. Ныров //Вестник ОГУ. - 2006. – № 10(60).- С. 422...428 [206]