

На правах рукописи

Горев Василий Николаевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И РАЗВИТИЯ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ-ПРЕДВЕСТНИКОВ
ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
В ДВУМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Новосибирск – 2007

Работа выполнена в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Козлов Виктор Владимирович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, с.н.с.
Косинов Александр Дмитриевич
(Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН)

доктор физико-математических наук, с.н.с.
Маркович Дмитрий Маркович
(Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН)

Ведущая организация: Центральный аэрогидродинамический институт
им. проф. Н.Е. Жуковского
(г. Москва)

Защита состоится “___” _____ 2007 г. в “___” час на заседании диссертационного совета Д003.035.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, Новосибирск-90, ул. Институтская 4/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

Автореферат разослан “___” _____ 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета д.т.н.

Засыпкин И.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди объектов исследования в аэрофизике процесс перехода течения от ламинарного состояния к турбулентному является, пожалуй, одним из интереснейших и сложных явлений. Ламинарно-турбулентный переход имеет место в различных сдвиговых течениях, таких как пограничные слои, струи, течения в каналах. Интерес исследователей к процессу перехода объясняется как желанием получить новые фундаментальные знания, которые позволят дополнить известную на сегодняшний день физическую картину явления, так и технической стороной вопроса, в частности снижением аэродинамического сопротивления и шумности летательных аппаратов.

Потенциальная возможность существенного снижения сопротивления путем затягивания ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое обтекаемых тел методами активного управления пристенным течением хорошо известна. Такие методы, в частности с использованием MEMS-технологий, предполагают локальное импульсное воздействие на вихревые возмущения, присутствующие в слое сдвига, на ранних этапах их развития. Однако в случае импульсного воздействия в пограничный слой вводится возмущение с широким спектром частот, часть из которых попадает в область неустойчивости течения (если таковая имеется), в результате в пограничном слое возникнет волновой пакет, который будет нарастать ниже по потоку и может привести к образованию турбулентного пятна. Таким образом, затягивание перехода к турбулентности не будет достигнуто. Возникновение волновых пакетов неоднократно наблюдалось в экспериментах по исследованию нестационарных продольных структур в пограничных слоях плоской пластины и прямого крыла, возбуждаемых с помощью мембраны или методом вдува (отсоса). Явление получило название “предвестник”, поскольку предшествует фронту продольной структуры.

Данная работа посвящена изучению волновых пакетов (предвестников), возникающих в пограничных слоях в областях, предшествующих резкому изменению скорости потока внутри пограничного слоя (фронты продольного возмущения), как объектов, которые, наряду с вторичной неустойчивостью продольных структур, являются звеном процесса ламинарно-турбулентного перехода при повышенной степени турбулентности набегающего потока.

Цель работы. Экспериментальное исследование возникновения и развития волновых пакетов, образующихся в двумерных и трехмерных пограничных слоях, в областях, предшествующих фронтам локализованных возмущений.

а) Исследование развития предвестников малой амплитуды в пограничном слое Блазиуса.

б) Изучение возникновения и развития предвестников продольных структур в пограничном слое прямого крыла.

в) Исследование волновых пакетов-предвестников в условиях пограничного слоя скользящего крыла.

Научная новизна. В работе показано, что предвестники являются пакетами волн Толлмина – Шлихтинга. Если условия течения таковы, что предвестники нарастают, волновые фронты в процессе своего развития трансформируются в Λ -структуры, приводя ниже по потоку к образованию турбулентных пятен. В пограничном слое Блазиуса обнаружено, что предвестники могут возникать и в условиях устойчивого пограничного слоя вне кривой нейтральной устойчивости. Однако в этом случае нарастания волновых пакетов не наблюдается. Кроме того, процесс образования и развития исследуемых возмущений малой амплитуды амплитудно независим. Предложена модель формирования и распространения фронтов данных продольных структур. Впервые в пограничном слое скользящего крыла получены волновые пакеты-предвестники фронтов локализованных возмущений. Изучена их пространственная геометрия, зафиксирована трансформация предвестника в турбулентное пятно. Предложены общие закономерности развития волновых пакетов-предвестников в условиях скользящего крыла. Найдено, что в результате нелинейного взаимодействия волны большой амплитуды от локализованного источника со средним течением в пограничном слое скользящего крыла формируется стационарная продольная структура. Найден механизм взаимного усиления периодической волны и продольной структуры.

Достоверность результатов обеспечена использованием в работе универсальных и отработанных методов экспериментальных исследований, повторяемостью результатов, полученных в опытах, проведенных на разных установках. Используемые экспериментальные методики обеспечивали хорошую повторяемость результатов измерений, проводимых через большие промежутки времени. Результаты согласуются с опубликованными данными о характеристиках подобных течений. Данные, полученные в различных разделах работы, дополняют друг друга и дают целостную, физически непротиворечивую картину изучаемого явления.

Практическая ценность полученных автором результатов состоит в следующем: результаты по исследованию возникновения и развития волновых пакетов могут быть использованы при разработке методов активного управления явлениями, происходящими в пограничных слоях, например, для выбора инструмента и формы импульса локального воздействия на вихревые возмущения в пристенном течении. Кроме того, в работе получены обширные количественные данные, которые могут быть использованы для верификации численных и теоретических моделей. В частности, показано, что сглаживание переднего и заднего фронтов локализованного возмущения позволяет существенно снизить амплитуду предвестников (скользящее крыло), а в большинстве случаев вообще избежать их возникновения (прямое крыло). Таким образом, метод импульсного локализованного вдува (отсоса) можно эффективно использовать с целью активного управления ламинарно-турбулентным переходом.

На защиту выносятся:

- Результаты экспериментального исследования возникновения и развития волновых пакетов – предвестников фронтов локализованных возмущений в пограничном слое Блазиуса.

- Результаты экспериментального исследования нестационарных процессов, происходящих в областях фронтов локализованных возмущений в пограничном слое на прямом крыле, в частности новые данные о характере течения в переходной области, образующей фронт локализованного возмущения и волновой пакет, предшествующий фронту.

- Результаты экспериментального исследования волновых пакетов–предвестников в условиях пограничного слоя на скользящем крыле.

- Метод управления процессом возникновения предвестников, который заключается в сглаживании фронтов порождающего волновые пакеты локализованного возмущения.

- Результаты экспериментального исследования нелинейного взаимодействия волны большой амплитуды от локализованного источника со средним течением в пограничном слое скользящего крыла.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на семинарах Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Института теплофизики СО РАН, Института гидродинамики СО РАН, НИИ механики МГУ, ЦАГИ, а также на международных конференциях по методам аэрофизических исследований (ICMAR), Новосибирск 2004, 2007; на международных конференциях “Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей”, Новосибирск, апрель 2004, 2005; на Европейской конференции по механике жидкости и газа (EFMC-6), Стокгольм, Швеция, 2006; на международной конференции “Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентности” (“Не-За-Те-Ги-Ус — 2006”), Москва, 2006; и на симпозиуме по проблемам ламинарно-турбулентного перехода (IUTAM) Бангалор, Индия, 2005.

Публикации. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в 19 работах, список которых приведен в конце автореферата.

Личный вклад автора. При выполнении работ по теме диссертации, опубликованных с научным руководителем Козловым В.В., соавторами Катасоновым М.М. и Бойко А.В., диссертант принимал участие в постановке задач, выработке методик исследований, непосредственных измерениях, обсуждении и обработке результатов экспериментов, подготовке статей и докладов на конференциях, представлении докладов на конференциях.

Представление изложенных в диссертации и выносимых на защиту результатов по исследованию возникновения и развития волновых пакетов–предвестников локализованных возмущений в двумерных и трехмерных

пограничных слоях, полученных в совместных исследованиях, согласовано с соавторами.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, обзора состояния исследований, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 100 наименований, списка работ, опубликованных по теме диссертации, одного приложения, содержащего фотографии экспериментальных моделей и оборудования, и изложена на 103 страницах, включая 41 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность проведенных исследований, излагаются цели и задачи работы, описывается структура диссертации.

В обзоре состояния исследований ламинарно-турбулентного перехода в сдвиговых течениях приводятся основные результаты работ, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям явления перехода к турбулентности в соответствии с темой диссертационной работы. Рассматриваются традиционные аспекты проблемы, включающие генерацию возмущений сдвиговых течений, их линейную устойчивость и нелинейные явления на поздних стадиях перехода к турбулентности. Описываются результаты исследований различных сценариев ламинарно-турбулентного перехода при низкой и повышенной степени турбулентности набегающего потока в зависимости от амплитуды начальных возмущений. Анализируются явления, связанные с развитием колебаний вследствие вторичной неустойчивости возмущенных течений в двумерных и трехмерных пограничных слоях. Изложены основные этапы развития представлений о явлениях происходящих в сдвиговых слоях, и в пограничном слое в частности. Обсуждаются современные подходы к описанию ламинарно-турбулентного перехода и последние опытные данные, уточняющие представления о переходе. Подробно рассматривается возможность управления течением в пограничном слое как с помощью пассивных элементов, как, например риблеты, так и с помощью активных систем, построенных на основе МЭМС-технологии. Указаны перспективы исследований в рассматриваемой области механики жидкости и газа.

В первой главе описываются методика и результаты экспериментального исследования волновых явлений, происходящих в областях фронтов локализованных возмущений в пограничном слое Блазиуса. Преимущество данного течения в том, что оно является наиболее простым и хорошо изученным примером пограничного слоя. Кроме того, в случае пограничного слоя Блазиуса сравнить экспериментальные данные с теорией существенно проще, чем в случае пограничного слоя на крыле.

Эксперимент проводился в условиях малых значений локального числа Рейнольдса, и пограничный слой в области измерений оставался устойчивым относительно возмущений малых амплитуд ($Re_{\delta^*} < 500$). Импульсы вдува (отсоса) воздуха приводили к возникновению в пограничном слое продоль-

ных локализованных возмущений. В своей центральной части, вблизи плоскости симметрии модели, генерируемые возмущения на начальном этапе развития (при значениях координаты X порядка длины щели) близки к двумерным, ниже по потоку двумерность нарушается. Перед фронтом продольной структуры наблюдается волновой пакет–предвестник, который, как и фронт продольной структуры, первоначально близок к двумерному. По мере развития пакета вниз по потоку его амплитуда постепенно затухает.

Как известно, исследуемые продольные структуры распространяются в пограничном слое с локальной скоростью среднего течения (рис. 1). То есть вблизи стенки возмущение движется сравнительно медленно, а в области верхней границы пограничного слоя - практически со скоростью внешнего течения. Таким образом, в каждый момент времени положение фронта относительно оси x зависит от координаты y . В то же время скорость распространения волновых возмущений не зависит от координаты y . В результате, волновой пакет и фронт продольной структуры накладываются друг на друга (рис. 1).

Вблизи поверхности предвестник опережает фронт, тогда как выше в пограничном слое он движется вместе с фронтом продольной структуры в локально нестационарной зоне течения. С другой стороны, предвестник, возникающий на заднем фронте, находится в возмущенном продольной структурой пограничном слое. Поскольку размер источника возмущений (длина щели в поверхности модели) существенно больше толщины пограничного слоя, можно считать, что в пределах продольной структуры течение представляет собой пограничный слой с несколько отличными от невозмущенного течения характеристиками. В случае генерации структуры отсосом воздуха профиль скорости в ней становится более наполненным, соответственно устойчивость течения возрастает и в области заднего фронта возмущения предвестник не возникает. Напротив, при вдуве воздуха устойчивость течения уменьшается и появляется предвестник.

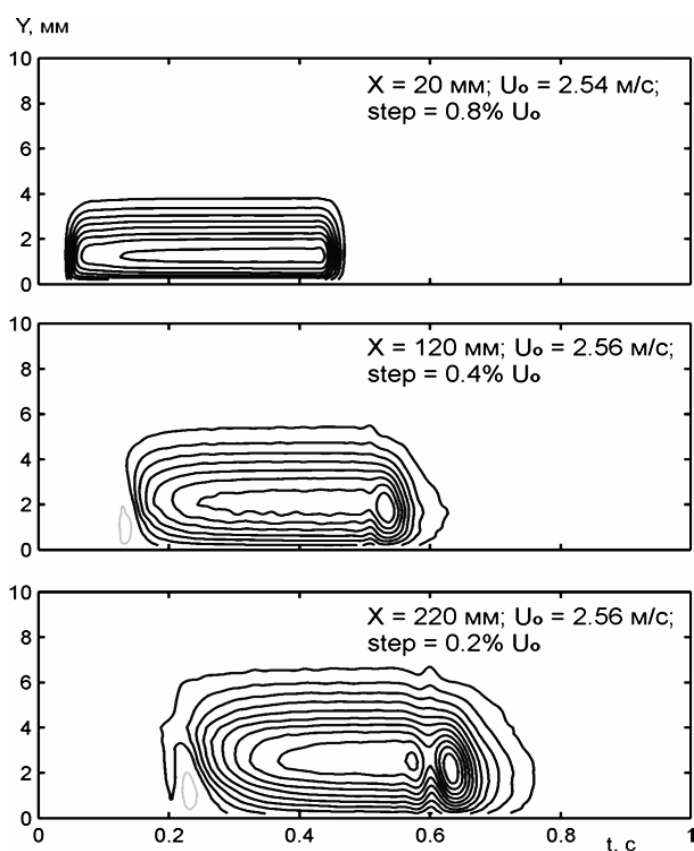


Рис. 1. Изолинии пульсационной составляющей скорости течения, образующего продольную структуру (вдув) и предвестники на ее переднем и заднем фронтах на различных расстояниях от источника возмущений.

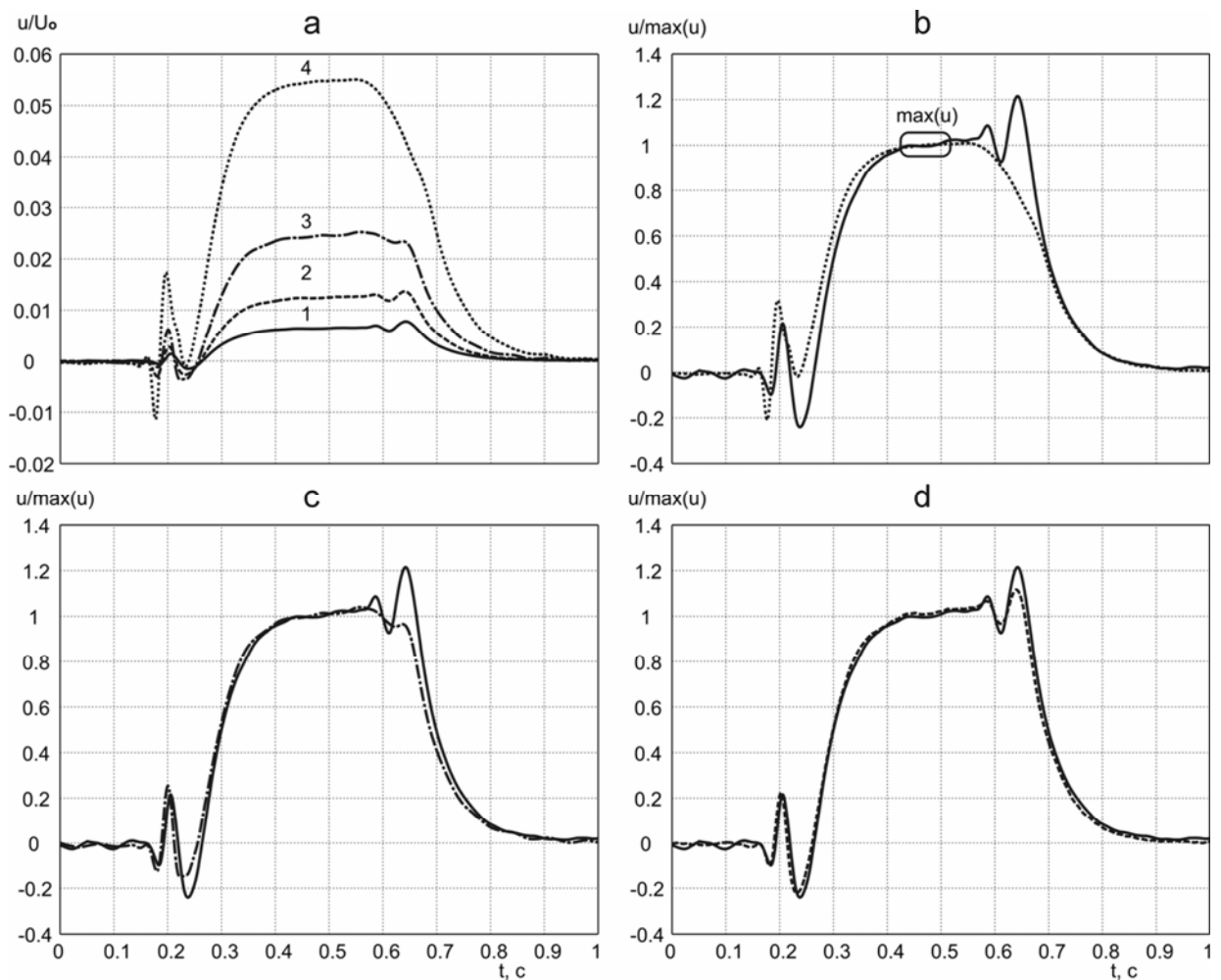


Рис. 2. Осциллограммы продольных возмущений, полученных в пограничном слое Блазиуса методом отсоса вдали от источника возмущений (а). Приведенные к единице осциллограммы продольных возмущений: амплитуды 1 и 4 (b), амплитуды 1 и 3 (c), амплитуды 1 и 2 (d).

Рассмотрено влияние начальной амплитуды на развитие волнового пакета. При нормировке осциллограмм (рис. 2) на максимум локализованного возмущения (рис. 2,b-d) часть кривых совпадает. Остающиеся отличия особенно велики между осциллограммами продольных структур наименьшей (1) и наибольшей (4) амплитуд (рис. 2,b). С уменьшением интенсивности структур различия между соответствующими данным возмущениям кривыми уменьшаются, (рис. 2,c и рис. 2,d).

Нормированные осциллограммы возмущений с наименьшими амплитудами (1, 2) отличаются лишь в пределах незначительных флуктуаций скорости, притом что возмущение 2 вдвое интенсивнее возмущения 1. Данный факт свидетельствует о линейности поведения продольных структур и их предвестников по амплитуде при ее малой величине.

Во второй главе работы рассмотрены особенности возникновения и развития вниз по потоку волновых пакетов-предвестников и порождающих их продольных структур в пограничном слое прямого крыла. Исследуется структура и механизм возникновения переходных явлений в областях течения, соответствующих фронтам продольных возмущений. Предложен меха-

низм формирования фронтов продольных структур, полученных методом вдува (отсоса). Рассмотрено влияние градиента давления внешнего течения на возникновения и развитие волновых пакетов-предвестников.

Фронт продольного возмущения представляют собой область нестационарного течения, которая распространяется вниз по потоку. В работе рассматриваются продольные структуры, время существования которых (продолжительность импульса вдува/отсоса) в несколько раз превышает время пролета хорды крыла потоком. Поэтому передний и задний фронты данных возмущений не взаимодействуют, поскольку в момент прекращения вдува или отсоса и появления заднего фронта передний фронт уже пролетел крыло.

Для анализа геометрии фронтов были проведены измерения поля скорости в плоскости XY , проходящей через точку $Z = 0$. Далее, используя данные измерений (U_{exp}) в плоскости симметрии возмущения, изображенного на рис. 3, было получено качественное решение системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \\ U^2 + V^2 = U_{\text{exp}}^2 \end{cases}$$

В целях обоснования была проведена оценка величины $(\partial W / \partial z) / (\partial U / \partial x)$, которая показала, что подобный подход вполне применим при данной конфигурации течения, как качественный метод. Если вычесть среднее невозмущенное поле скоростей, то получается приближенная картина течения (поля U и V компонент скорости) образующего продольную структуру, ее фронты и волновые пакеты в окрестности фронтов.

В области переднего фронта (рис. 3, b) наблюдается своего рода натекание быстрого газа на медленную область невозмущенного пограничного слоя. В результате векторы пульсационной составляющей скорости в области фронта продольного возмущения направлены от поверхности. Перед фронтом виден предвестник, представляющий собой пакет, состоящий из пар противовращающихся вихрей (рис. 3, b, c), что согласуется с данными о течении, образующем волну Толлмина – Шлихтинга. В области заднего фронта картина течения иная. Течение внутри продольного возмущения имеет скорость больше, чем невозмущенный пограничный слой позади фронта. В итоге, на заднем фронте происходит втекание в пограничный слой быстрого газа из верхних слоев пристенного потока.

В случае вдува ситуация обратная: в пристенную область пограничного слоя добавляется газ с нулевой продольной скоростью, в результате локальные скорости течения в пограничном слое за щелью получаются меньше, чем в невозмущенном течении, соответственно профили пограничного слоя становятся менее наполненными. Поэтому “натекание на препятствие” происходит в области заднего фронта, а “стекание” в области переднего фронта. Таким образом, течение на переднем (заднем) фронте возмущения, полученного

методом вдува, подобно течению в области заднего (переднего) фронта при отсосе.

Рассмотрено влияние градиента давления внешнего течения на возникновение и развитие волновых пакетов-предвестников. Показано, что градиент давления внешнего течения является важным и определяющим фактором, влияющим на возникновение и развитие предвестников.

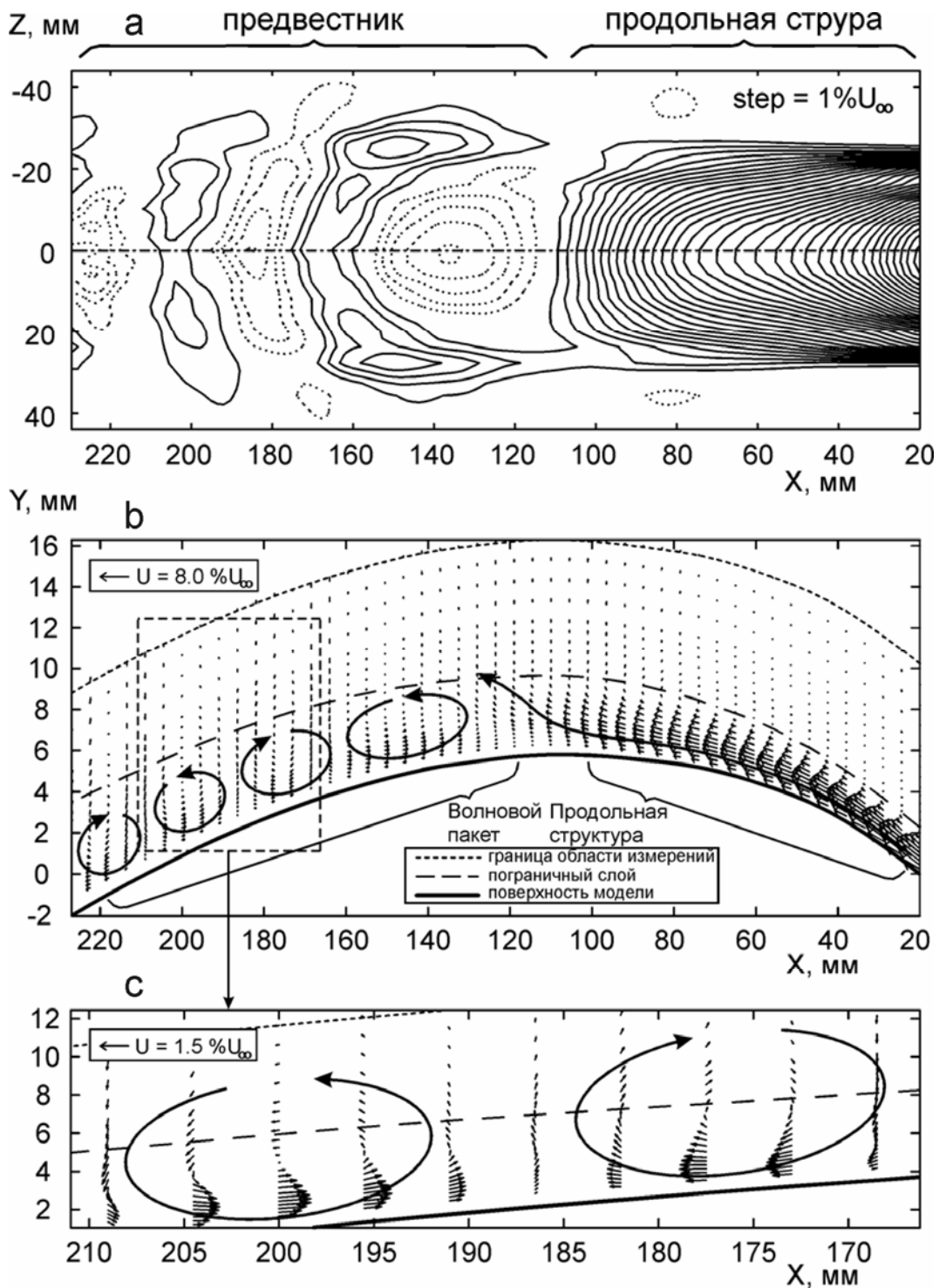


Рис. 3. Изолинии мгновенного поля пульсаций продольной составляющей скорости плоскостной структуры (метод отсоса) и предвестника на ее переднем фронте (а). Мгновенное поле пульсаций продольной (u) и нормальной к поверхности (v) скоростей в плоскости симметрии структуры (б), тот же момент времени, что и (а). Поле скоростей одного периода волны предвестника в увеличенном масштабе (с).

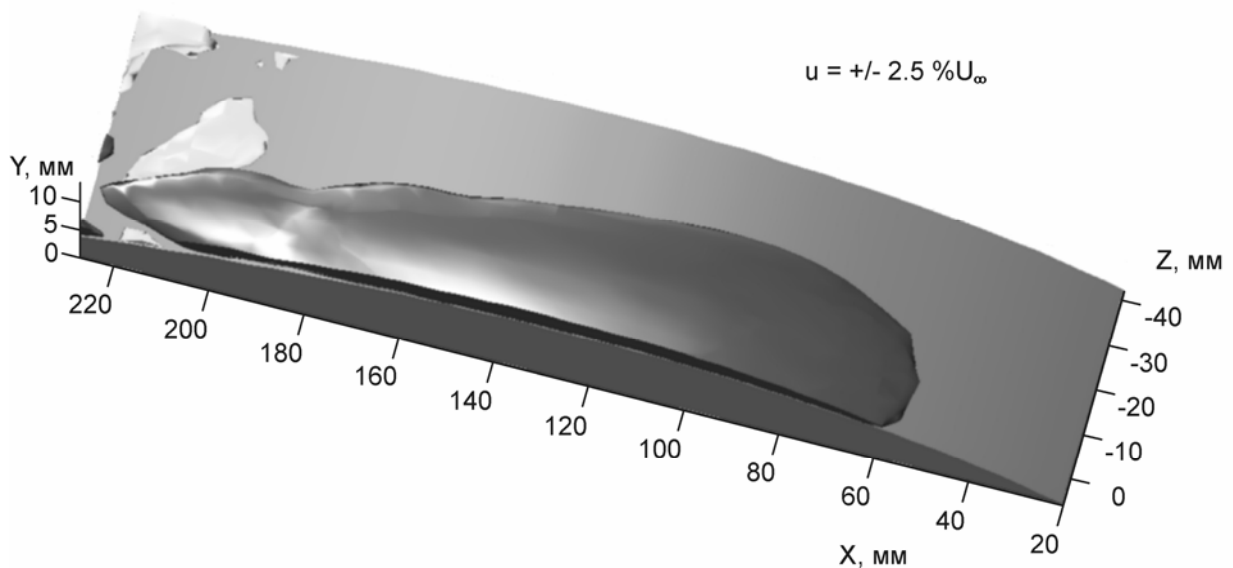


Рис. 4. Задний фронт продольной структуры (вдув), светлые области - превышение скорости ($u = +2.5 \%U_\infty$), темные области - дефект скорости ($u = -2.5 \%U_\infty$), серым цветом обозначена поверхность модели крыла. В области $140 \text{ мм} < X < 230 \text{ мм}$ наблюдаются перетяжки продольной структуры, а также локализованные области превышения скорости, что соответствует волновому пакету (предвестнику), за ним следует задний фронт продольной структуры.

Фронты волн, составляющих пакет, изначально прямые, или квазидвумерные. Далее, в процессе развития предвестника волновой фронт искривляется и пакет теряет двумерность. Волновые фронты, составляющие предвестник на переднем фронте, ниже по потоку трансформируются в Λ -структуры. Предвестник в области заднего фронта продольного возмущения, при вдуве, на термоанемометрических визуализациях наблюдается в виде перетяжек продольной структуры (рис. 4), что напоминает варикозную моду вторичной неустойчивости продольной структуры. Однако, если удалить низкочастотную часть пульсационной составляющей скорости, практически сразу за источником обнаруживается Λ -подобная конфигурация предвестника.

В третьей главе рассмотрены особенности возникновения и развития вниз по потоку волновых пакетов-предвестников и порождающих их продольных структур в пограничном слое скользящего крыла.

Измерения в пограничном слое скользящего крыла также показали присутствие подобных предвестников, поэтому далее эксперимент проводился по той же методике, что и на прямом крыле, с поправкой на угол скольжения.

Компьютерные визуализации исследуемых возмущений, выполненные на основе измеренных полей скорости, показали, что, в отличие от возмущений на прямом крыле, предвестники и продольные структуры в пограничном слое скользящего крыла за счет трехмерности течения становятся асимметричными. Происходит закрутка продольной структуры. Поскольку в пограничном слое скользящего крыла, на различных расстояниях от поверхности, течение имеет различные направления, то вдув (отсос) не только меняют наполненность профиля продольной компоненты скорости, но и направление

локального вектора скорости в фиксированных точках пространства ниже по потоку за щелью.

На начальном этапе развития фронт продольного возмущения параллелен передней кромке крыла, что определяется ориентацией щели. В области потока непосредственно перед фронтом возникает квазидвумерный волновой пакет, также параллельный передней кромке крыла (рис. 5). Далее происходит нарушение двумерности, предвестник разделяется на сугубо трехмерное “ядро” и на практически нейтральный пакет волн, ориентированных вдоль передней кромки крыла, “след” (рис. 6). Амплитуда ядра быстро растет, и ниже по потоку наблюдается формирование Λ -структур. Ниже по потоку ядро, представляющее собой пакет Λ -структур, превращается в турбулентное пятно. Показано, что при сглаживании фронтов продольной структуры амплитуда волновых пакетов существенно уменьшается.

Квазидвумерный след сравнивался с периодической волной с частотой, равной основной частоте пакета, и геометрия фронтов волны малой амплитуды практически повторяла геометрию квазидвумерных волновых пакетов.

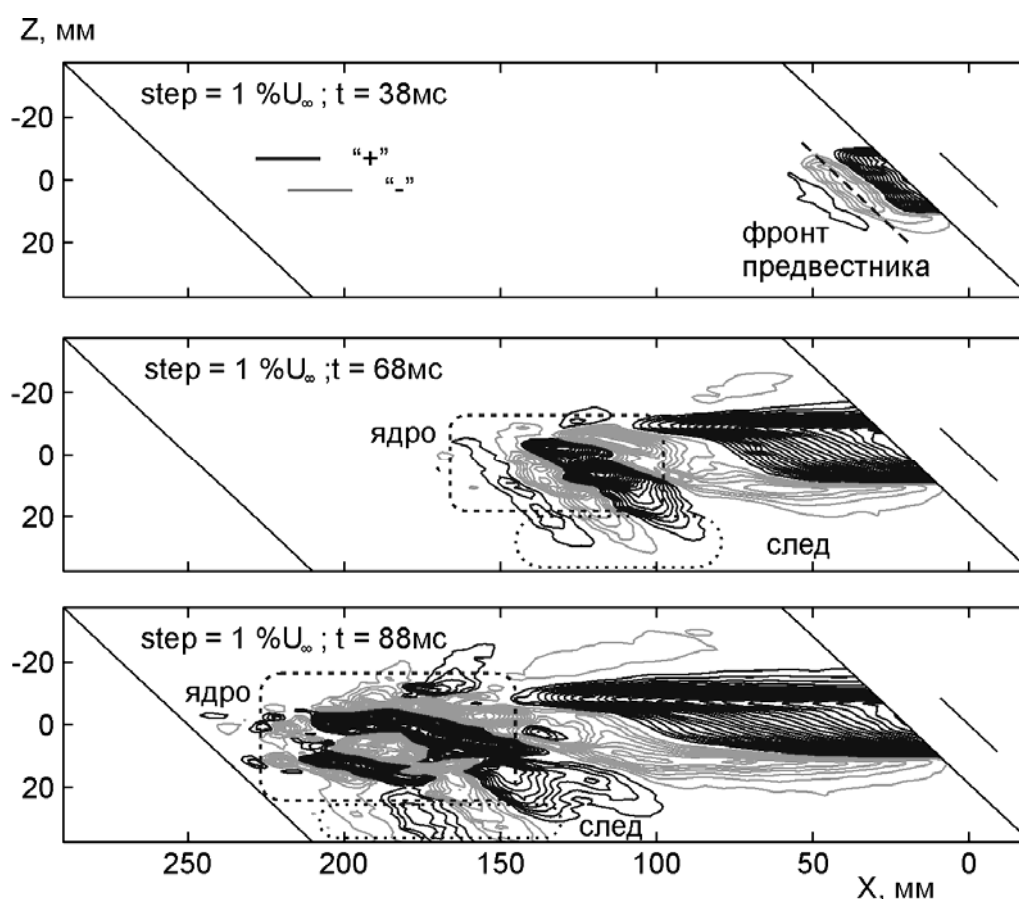


Рис. 5. Изолинии мгновенных полей пульсационной составляющей продольной компоненты скорости для полосчатой структуры, полученной методом отсоса, и предвестника на ее переднем фронте.

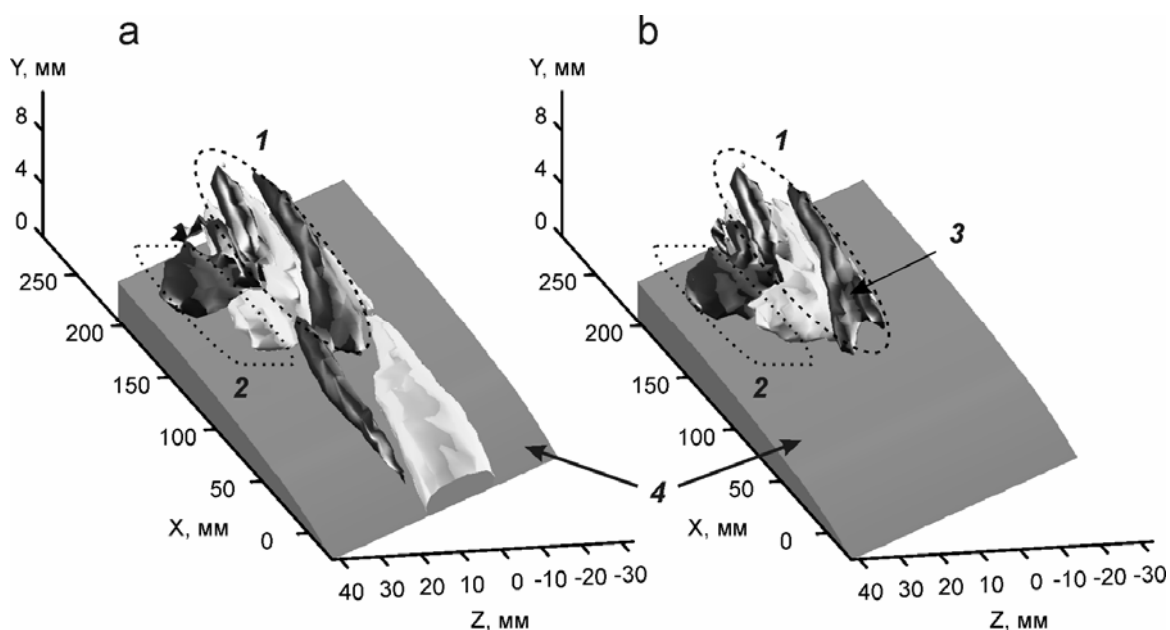


Рис. 6. Компьютерная визуализация поздней стадии развития предвестника на переднем фронте продольной структуры, полученной с помощью отсоса (а). Низкочастотная составляющая удалена из массива данных с помощью вейвлет-фильтрации по времени, в результате обнаружено формирование Λ -структуры в составе волнового пакета (б). Светлые области соответствуют изоповерхностям со значением пульсаций скорости $u = 3.5 \% U_\infty$, темные - поверхностям со значением скорости $u = -3.5 \% U_\infty$.

1 – ядро предвестника; 2 – квазидвумерный след; 3 – Λ -структуры; 4 – поверхность модели крыла.

В случае генерации бегущей волны большой амплитуды вследствие нелинейности искажается среднее течение в пограничном слое. В результате возникает стационарная продольная структура, причем максимум пульсаций волны лежит в области максимального значения $\partial U/\partial z$.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы:

1. Показано, что предвестники являются пакетами волн Толлмина – Шлихтинга. Нарастающие предвестники в процессе своего развития трансформируются в Λ -структуры, приводя ниже по потоку к образованию турбулентных пятен.

2. Обнаружено, что в пограничном слое Блазиуса предвестники могут возникать и в условиях устойчивого пограничного слоя вне кривой нейтральной устойчивости. Однако в этом случае нарастания волновых пакетов не наблюдается. Более того, процесс образования и развития исследуемых возмущений малой амплитуды амплитудно независим.

3. Исследованы поля течения в областях фронтов продольных возмущений, полученных методом вдува или отсоса в пограничных слоях плоской пластины и прямого крыла. Предложена модель формирования и распространения фронтов данных продольных структур.

4. Впервые в пограничном слое скользящего крыла получены волновые пакеты-предвестники фронтов продольных структур. Изучена их пространственная геометрия, зафиксирована трансформация предвестника в турбулентное

пятно. Предложены общие закономерности развития волновых пакетов-предвестников в условиях скользящего крыла.

5. Показано, что сглаживание переднего и заднего фронтов продольного возмущения позволяет существенно снизить амплитуду предвестников (скользящее крыло), а в большинстве случаев вообще избежать их возникновения (прямое крыло). Таким образом, метод импульсного локализованного вдува (отсоса) можно эффективно использовать с целью активного управления ламинарно-турбулентным переходом.

6. Установлено, что в результате нелинейного взаимодействия волны большой амплитуды от локализованного источника со средним течением в пограничном слое скользящего крыла формируется стационарная продольная структура. Найден механизм взаимного усиления периодической волны и продольной структуры.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Горев В.Н., Катасонов М.М. Возникновение и развитие предвестников на фронтах продольных структур в пограничном слое прямого крыла // Теплофизика и аэромеханика. 2004. Т. 11, №3. С. 403-415.
2. Горев В.Н., Катасонов М.М., Козлов В.В. Волновые предвестники продольных структур на прямом и скользящем крыле // Доклады академии наук. 2006. Т. 410, № 1. С. 53–56
3. Бойко А.В., Горев В.Н., Козлов В.В. Переход к турбулентности в пограничных слоях: успехи и перспективы // Вестник НГУ. Сер. Физика. 2006. Т. 1, вып. 2.
4. Горев В.Н. Генерация и развитие “пассивных” возмущений в пограничном слое прямого крыла // Тезисы докладов Междунар. науч. студ. конф. МНСК-40, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2002. С. 25.
5. Горев В.Н., Катасонов М.М. Генерация и развитие «пассивных» возмущений в пограничном слое прямого крыла // VII Всероссийской конф. молодых ученых: Тезисы докладов. Новосибирск, 2002. С. 46-47.
6. Горев В.Н., Катасонов М.М. Особенности развития “пассивных” возмущений в пограничном слое прямого крыла // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции студентов физиков ВНКСФ-IX. Красноярск, 2003. С. 326.
7. Горев В.Н. Особенности развития «пассивных» возмущений в пограничном слое прямого крыла // Труды Междунар. научной студ. конф. –МНСК-41, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2003. С. 106-112.
8. Горев В.Н. Особенности развития «пассивных» возмущений в пограничном слое прямого крыла // Тезисы докладов Междунар. науч. студ. конф. МНСК-41, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2003. С. 18.
9. Горев В.Н., Катасонов М.М. Особенности развития волновых пакетов на фронтах “пассивных” возмущений в пограничном слое прямого крыла // III Всероссийская конф. молодых ученых «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии»: Тезисы докладов. Новосибирск, 2003. С. 11-12.
10. Горев В.Н., Катасонов М.М. Возникновение и развитие волновых пакетов на фронтах продольных структур в пограничном слое прямого крыла // Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей: Тезисы докладов IX Междунар. конф., посв. 90-летию акад. В.В. Струминского. Новосибирск, 2004. С. 55-56.

11. Горев В.Н. Особенности генерации и развития предвестников на фронтах продольных структур в пограничном слое прямого крыла // Тезисы докладов Международ. науч. студ. конф. –МНСК-42, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2004. С. 39.
12. Gorev V.N., Katasonov M.M. The peculiarities of development of forerunners on longitudinal structures fronts in the boundary layer of a straight wing // International Conference on the Methods of Aerophysical Research: Proceedings, Part II. Novosibirsk, 2004. P. 77-82.
13. Горев В.Н., Катасонов М.М. Экспериментальное изучение развития вторичной неустойчивости продольных структур в пограничном слое прямого крыла // Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей: Доклады X конф. молодых ученых. Новосибирск, 2005. С. 47-50.
14. Горев В.Н. Экспериментальное исследование взаимодействия продольных структур в пограничном слое прямого крыла с высокочастотными вихревыми возмущениями // Тезисы докладов Международ. науч. студ. конф. –МНСК-43, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2005. С. 41.
15. Gorev V.N., Katasonov M.M., Kozlov V.V. The peculiarities of development of forerunners on longitudinal structures fronts in the boundary layer of a straight wing // Proceedings of the Sixth IUTAM Symp. on Laminar-turb. Transition, Bangalore, India 2004/ Series: Fluid Mech. and its Appl., Vol 78, Govingarajan, Rama (ED) 2005, P. 103-108.
16. Горев В.Н., Катасонов М.М., Козлов В.В. Волновые предвестники продольных структур на прямом и скользящем крыле // Тезисы докладов Международной конференции «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентности» («Не-За-Те-Ги-Ус-2006»). М., 2006, С. 35-36.
17. Gorev V.N., Katasonov M.M., Kozlov V.V. Wave forerunners of longitudinal structures on straight and swept wings // Abstracts of 6th European Fluid Mechanics Conference «EFMC-6», Stockholm, 2006. P. 81.
18. Горев В.Н., Катасонов М.М. Возникновение и динамика развития предвестников продольных структур на прямом и скользящем крыле // Материалы Всероссийской науч. конф. студентов физиков и молодых ученых «ВНКСФ-12». Новосибирск, 2006. С. 307-308.
19. Горев В.Н. Экспериментальное исследование развития предвестников продольных структур на прямом и скользящем крыле // Тезисы докладов Международ. науч. студ. конф. –МНСК-44, секция «Аэрофизика и неравновесные процессы». Новосибирск, 2006. С. 28-29.

Ответственный за выпуск В.Н. Горев

Подписано в печать 5.04.2007
Формат бумаги 60 × 84/16, Усл. печ. л. 1.0,
Уч.-изд. л. 1.0, Тираж 100 экз., Заказ № 9

Отпечатано в ЗАО «ДокСервис»
630090, Новосибирск, Институтская, 4/1