

человека. Параметры потока и свойства рабочей жидкости (водный раствор глицерина) подбирались из условия соблюдения подобия по числам Рейнольдса и Струхала реальному течению крови в бедренной артерии. Ответвление (шунт) устанавливалось под углом  $60^\circ$  к основному каналу. Варьировалось соотношение расхода основного канала (артерии) и ответвления (шунта).

Получено удовлетворительное совпадение расчетной картины течения с данными визуализации, а также расчетных и экспериментальных профилей скорости в сечениях основного участка и ответвления. Установлено, что течение в области разветвления имеет существенно трехмерный характер. Обнаружено существенное отличие структуры потока в области разветвления на пульсирующих режимах от стационарного случая, даже при совпадении мгновенного значения числа Рейнольдса пульсирующего потока и стационарного течения. Размер открытой области существенно изменяется по фазе вынужденных колебаний расхода. При реверсе расхода область отрыва потока в ответвлении исчезает и формируется уже на ближней к ответвлению стенке основного канала (артерии). Соответственно изменяется и среднее положение локализованных зон наименьшего трения, с которыми обычно связывают наиболее интенсивный рост интимы. Течение в слое смешения при переходе к турбулентности отличается значительной перемежаемостью, вызванной как изменением поперечного размера областей отрыва, так и формированием в слое смешения в фазе ускорения потока крупномасштабных вихревых структур. Установлено, что неустойчивость развивается в слое смешения на границе областей отрыва потока, формируемых в основном канале и ответвлении, за исключением случая, когда через основной канал протекает 75% суммарного расхода. В этом случае потери устойчивости течения ни в стационарном, ни в пульсирующем потоке не наблюдается.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 20-61-47068) (научные результаты) и госзадания ФИЦ КазНЦ РАН (проект. FMEG-2021-0001) (тестирование метода SIV).

### Асимптотическая теория машущего крыла круглого сечения

А.Н. Нуриев, А.Г. Егоров, О.Н. Зайцева  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

В работе рассматривается движение круглого цилиндрического крыла, совершающего поперечно-вращательные колебания, в вязкой

несжимаемой жидкости. Для описания гидродинамики крыла используется уравнение Навье-Стокса. Решение задачи строится с помощью метода асимптотических разложений по малому параметру, в качестве которого выбирается безразмерная амплитуда колебаний. Ограничений на частоту колебаний при этом не налагается. Исследуется случай движения крыла с крейсерской скоростью, в условиях нулевой средней силы, действующей за период колебаний. Крейсерская скорость при этом определяется из решения задачи. Построенное в работе решение позволяет определить основные характеристики нестационарного силового гидродинамического воздействия на машущее крыло и его крейсерскую скорость как нелинейные функции безразмерной частоты, амплитуды вращательных колебаний и параметров мультигармонического закона поступательных колебаний. По результатам исследования описано влияние структуры закона колебаний на эффективность пропульсивного движения, изучены оптимальные параметры движения машущего крыла, показано, что крейсерская скорость цилиндрического крыла в оптимальных режимах движения сопоставима со скоростью поперечных колебаний. В заключении работы проведен анализ границ применимости построенной асимптотической теории.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

### Методика расчета и численная оптимизация характеристик профилей для воздушных винтов с использованием методов, основанных на решении уравнений Рейнольдса

В.В. Ореховский, А.В. Лысенков  
ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, Жуковский

Современная методика проектирования воздушных винтов (ВВ), используемая в ЦАГИ, основана на базе данных профилей серии П (П-105 и т.п.). Однако аэродинамические характеристики (АДХ) данных профилей не позволяют разработать перспективные ВВ с саблевидными лопастями, удовлетворяющий современным требованиям к летательным аппаратам в широком диапазоне режимов их работы. В связи с этим, используется многокритериальная оптимизация с использованием методов расчета, основанных на решении