УДК 533.662:533.6.07 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-186-188

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНОГО ВИНТА: ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ И ПНЕВМОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОДЫ

Черкашин Т.О., Крюков А.В.
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Ключевые слова: воздушный винт, аэродинамический стенд, тензометрия, пневмометрия, коэффициент тяги, коэффициент мощности, погрешность измерений.
Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик воздушного винта. Проведено сравнение тензометрического метода измерения интегральных силовых факторов с пневмометрическим методом профилирования следа винта. Проанализированы систематические и случайные погрешности измерений при варьировании осевого расстояния x/D. Выявлены закономерности изменения коэффициентов тяги α, мощности β и коэффициента полезного действия η в зависимости от коэффициента режима работы λ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS PROPELLER: TENSOMETRIC AND PNEUMOMETRIC METHODS

Cherkashin T.O., Kryukov A.V.
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Keywords: propeller, aerodynamic stand, strain gauge, pneumometry, thrust coefficient, power coefficient, measurement error.
Abstract. The results of an experimental study of the aerodynamic characteristics of a propeller are presented. A comparison was made of the strain gauge method for measuring integral force factors with the pneumometric method of profiling the screw trace. Systematic and random measurement errors were analyzed when the axial distance x / D was varied. Patterns of changes in the thrust coefficients α, power β and efficiency coefficient η were revealed depending on the operating mode coefficient λ.

Определение аэродинамических характеристик воздушных винтов остаётся одной из базовых задач аэродинамики летательных аппаратов [1]. При этом применяемые экспериментальные методы опираются на разные физические принципы, что напрямую определяет их точность и область применимости. Так, тензометрический метод даёт интегральные силовые характеристики винта – тягу P и момент M, – однако не позволяет судить о распределении нагрузки по лопасти. Пневмометрический метод профилирования следа, напротив, обеспечивает возможность оценить структуру потока и распределение нагрузки по радиусу, но уступает в точности интегральных оценок [2]. Таким образом, выбор метода определяется решаемой задачей, а их прямое сопоставление требует учёта методических погрешностей.

Экспериментальные исследования проводились на стенде в аэродинамической трубе СС-19 (рис. 1) с помощью трёхствольного насадка *2*. Давления фиксировались на удалениях x/D = 0; 0.48; 0.71 за винтом с помощью микроманометров $\Delta h_{1,4}$ и $\Delta h_{2,\ 1}$, где x – координата микронасадка за плоскостью винта, D – диаметр винта *8*, установленный на электродвигатель *10*, подключённый через источник питания *9*. Контроль оборотов обеспечивался с помощью

тахометра *11*, который воспринимал свет от лампочки *7*, подключённой к источнику *6*. Использование микронасадка позволило определить распределение элементарных сил вдоль лопасти.

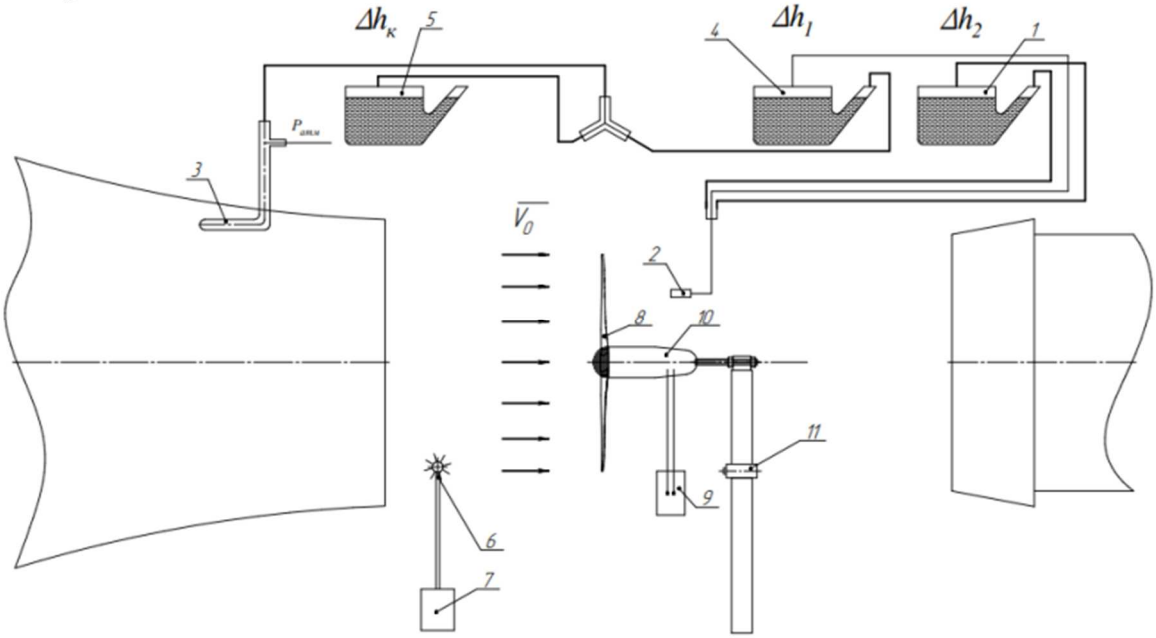


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения характеристик воздушного винта: 1 – микроманометр измерителя скоса потоков, 2 – трёхствольный насадок, 3 – контрольный насадок (трубка Пито), 4 – микроманометр перепада полного давления, 5 – контрольный микроманометр, 6 – источник света, 7 – блок питания источника света, 8 – воздушный винт, 9 – источник питания электродвигателя, 10 – электродвигатель, 11 – тахометр

Пневмометрический метод чувствителен к координатам съёма данных, поэтому для прецизионного позиционирования насадка относительно плоскости вращения винта была спроектирована координатная система на базе передачи «винт-гайка». Данный механизм обеспечивает строго дозированное осевое перемещение зонда, дискретно связанное с шагом метрической резьбы ходового винта.

Были получены зависимости безразмерных коэффициентов тяги α, мощности β и КПД η от режима работы винта λ, а также проведен анализ погрешностей при различных осевых расстояниях (рис. 2) [3].

Сравнение зависимостей α, β и η от коэффициента λ показало, что при $\lambda = 0$ и малых скоростях потока оба метода дают практически совпадающие результаты. Расхождение нарастает с увеличением коэффициента поступи: при $\lambda > 0{,}3$ пневмометрический метод даёт завышенные значения тяги и заниженные значения мощности относительно тензометрических данных. Наиболее заметно это в расчётном КПД, который по пневмометрическому методу оказывается существенно выше. Физическое объяснение: тензометрические весы фиксируют интегральные силовые факторы, включая все аэродинамические потери – профильное сопротивление лопастей, концевые вихри и сопротивление втулки. Пневмометрический насадок, профилируя след, регистрирует параметры высокоэнергетического ядра струи и не полностью учитывает концевые перетекания и потери на границах вихревого следа.

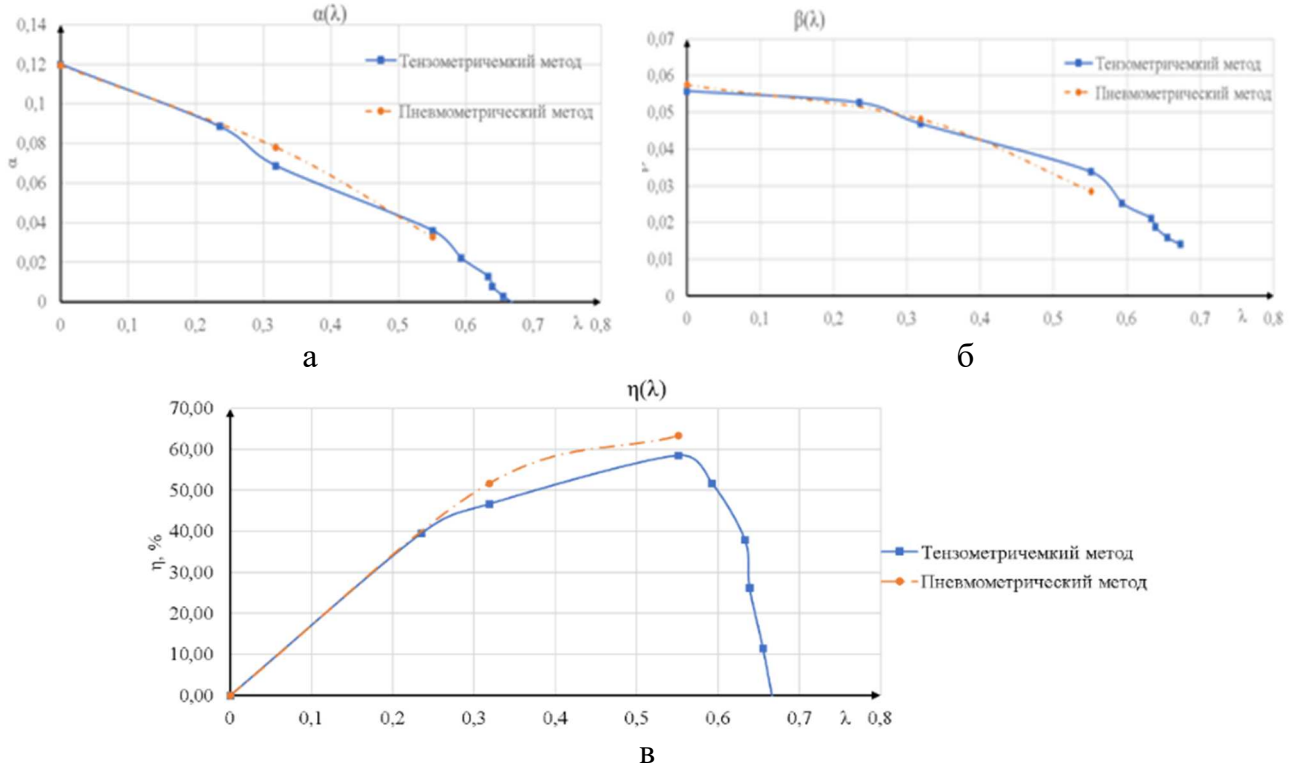


Рис. 2. Графики зависимостей безразмерных коэффициетов от относительной поступи: а - коэффициента тяги, б – коэффициент мощности, в – коэффициент полезного действия

Анализ систематических погрешностей пневмометрического метода при удалении плоскости измерений от диска винта (x/D = 0; 0,48; 0,71) показал: при $x/D \approx 0$ погрешности по тяге и мощности составляют 3-5%, по КПД – около 5%. При x/D = 0,48 погрешность по тяге возрастает до 25%, по мощности – до 30%, по КПД – до 80%. Дальнейшее удаление зонда (x/D = 0,71) приводит к ещё большему расхождению из-за диссипации полного давления, затухания закрутки потока и изменения площади сечения струи.

Таким образом, пневмометрический метод достоверен для расчёта интегральных характеристик (α, β, η) только вблизи плоскости вращения ($x/D \approx 0$). При $x/D \geq 0{,}48$ метод непригоден без поправочных коэффициентов, учитывающих диссипацию полного давления, затухание закрутки и изменение площади сечения струи.

Список литературы

1. Александров В.Л. Воздушные винты: учебное пособие. – М.: Оборонгиз, 1951. – 476 с.
2. Попов С.Г. Некоторые задачи и методы экспериментальной аэродинамики. – М.: Машиностроение, 1972. – 168 с.
3. Обуховский А.Д. Аэродинамика воздушного винта: учебное пособие. Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 80 с.

Сведения об авторах:
Черкашин Тимофей Олегович – студент;
Крюков Алексей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры аэродинамики.