

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М. И. КАЛИНИНА

ГИДРОАЭРОДИНАМИКА

Методические указания к лабораторным работам

Ленинград
1976

Методические указания к лабораторным работам предназначены для студентов специальностей 0554, 0309, 0527, изучающих курс «Гидроаэродинамика».

Рекомендованы указания кафедрой «Гидроаэродинамика» и утверждены методической комиссией физико-механического факультета.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

для студентов, выполняющих учебные работы
в лаборатории аэродинамики

1. Каждая учебная работа выполняется бригадой студентов в количестве 2—3 человек.
2. Каждая бригада имеет право выполнять только ту работу, которая назначена руководителем.
3. Студент должен являться на занятия, предварительно подготовившись к работе по литературе, указанной в программах учебных работ, и по записям лекций. Рекомендуется составлять конспект по теории, относящейся к предстоящей работе.
4. Бригада может приступить к производству измерений только после опроса руководителем по теории, относящейся к данной работе, и проверки собранной схемы. Без разрешения руководителя запрещается включение рубильников электромоторов и электрических схем.
5. Работа должна выполняться с приборами, для нее назначенными. Брать какие-либо другие приборы без разрешения руководителя воспрещается.
6. В случае порчи прибора или какой-либо детали установки, студент, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить об этом руководителю.
7. По окончании работы результаты наблюдений предъявляются руководителю. Для записи результатов наблюдений рекомендуется каждому студенту иметь особую тетрадь.
8. По окончании работы схема должна быть разобрана, приборы и модели сданы руководителю.
9. К началу следующей работы каждый студент должен представить преподавателю отчет.
10. Несоблюдение настоящих правил может повлечь за собой лишение студента права продолжать работу в лаборатории в данный день.

ПРАВИЛА СОСТАВЛЕНИЯ ОТЧЕТОВ

1. Отчет о каждой работе должен представляться отдельно, а не в общей тетради отчетов.

2. В отчете должно быть приведено следующее:

а) конспект по теории, относящейся к данной работе;
б) принципиальные схемы всех измерений и приборов, с которыми студент работал при выполнении данной работы;
в) перечень и подробные данные всех приборов, примененных в работе;

г) результаты наблюдений и последующих вычислений;
д) графики с кривыми, выражающими результаты измерений;

е) основные выводы, сделанные студентами в результате выполненной работы.

3. Результаты наблюдений и последующих вычислений выражаются таблицами, при составлении которых должны быть выполнены следующие требования:

а) над каждой таблицей должна быть надпись, указывающая к какому опыту относятся наблюдения или расчет;

б) над каждым столбцом таблицы необходимо точно указать какие величины приведены в столбце и в каких единицах;

в) количество цифр каждого числа таблицы должно соответствовать точности, с которой выражена данная величина;

г) нужно привести все формулы, которыми пользовались при получении данных для таблицы.

4. На каждом графике с кривыми, выражающими результаты измерений, должны быть даны:

а) номер работы, к которой относится данный график;

б) название опыта, выраженного данной кривой. Если же все кривые изображают результаты однородных наблюдений, сделанных при разных условиях, то должна быть общая надпись, а кривые должны отличаться одна от другой различными обозначениями нанесенных точек;

в) объяснения обозначений нанесенных точек;

г) если графики не прикреплены к отчету, то на каждом из них дополнительно должны быть указаны фамилия, инициалы студента и номер группы.

5. На осях координат должны быть указаны:

а) масштаб оси, который выражается цифрами, поставленными на крупных делениях сетки. Допускаются только масштабы, равные 1, 2 и 5, умноженные на 10, в целых положительных или отрицательных степенях;

б) наименование нанесенных величин и указание единиц, в которых они выражены; писать необходимо вдоль оси с наружной стороны, причем вдоль оси ординат следует писать снизу вверх.

6. Размеры масштабов должны соответствовать точности измеренных величин.

7. Нуль масштаба каждой оси координат должен находиться в начале координат.

8. Все точки, полученные при опыте, наносятся на график особыми значками, ясно обозначенными (точками, кружками и т. п.). Кривые должны быть проведены плавно и пройти через возможно большее число точек.

9. Все результаты измерений представляются в безразмерном виде.

РАБОТА I

ТАРИРОВАНИЕ МИКРОМАНОМЕТРА МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ С ЭТАЛОННЫМ МИКРОМАНОМЕТРОМ И АБСОЛЮТНЫМ МЕТОДОМ

Задание

1. Проградуировать микроманометр методом сравнения с эталонным микроманометром.
2. Проградуировать микроманометр абсолютным методом.
3. Построить градуировочные кривые.
4. Построить кривые относительных погрешностей микроманометра.

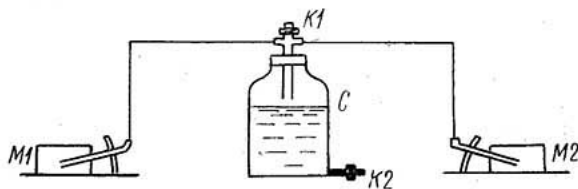


Рис. 1

Схема установки для градуировки методом сравнения дана на рис. 1. На схеме введены обозначения: $M1$ и $M2$ — эталонный и тарируемый микроманометры; $K1$ и $K2$ — краны; C — сосуд с жидкостью.

Порядок выполнения работы

1. Собирается схема согласно рис. 1 и фиксируются нулевые показания для эталонного и испытуемого микроманометров.

Создается все увеличивающееся разрежение в сосуде путем выпуска воды через кран $K2$ и показания обоих микроманометров A_1 и A_2 записываются в табл. 1.

Таблица 1

Микроанометры: M1 фирмы _____ № _____		M2 фирмы _____ № _____			
$a_1 =$	$a_2 =$	$m_1 =$	$m_2 =$		
№ пп.	Эталонный		Испытуемый		$(A_2 - a_2)_{\text{прив.}}$ мм
	A_1	$A_1 - a_1$	A_2	$A_2 - a_2$	
	мм		мм		

В таблице A_1, A_2 — показания микроанометров $M1$ и $M2$; a_1, a_2 — начальные показания микроанометров $M1$ и $M2$; m_1, m_2 — масштабы микроанометров $M1$ и $M2$.

Если эталонный и испытуемый микроанометры имеют различные масштабы, следует показания испытуемого микроанометра привести к масштабу эталонного по формуле:

$$(A_2 - a_2)_{\text{прив.}} = m_2/m_1 (A_2 - a_2).$$

Опыт производится для различных масштабов испытуемого микроанометра. Для каждого масштаба строится тарировочная кривая.

Примечание. Тарировочный коэффициент эталонного микроанометра предполагается равным 1.

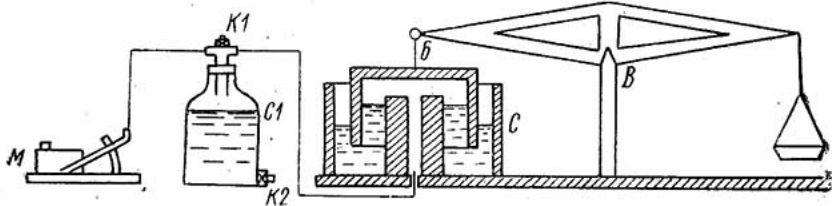


Рис. 2

2. Собирается схема согласно рис. 2 (тарировка абсолютным методом), где приняты обозначения: B — колокол; B — весы; C_1 — сосуд для изменения давления.

При открытом кране $K1$ уравниваются весы и записываются нулевое показание a микроанометра и величина груза G_0 на весах. После этого выпускается вода из сосуда $C1$, в результате чего колокол опускается и равновесие весов нарушается. Затем весы вновь приводят в начальное положение и тем самым создают разрежение под колоколом, которое передается на микроанометр.

При различных разрежениях под колоколом в табл. 2 записываются показания микроманометра A и величина груза G .

Величина груза $G - G_0$, необходимая для восстановления равновесия, пропорциональна разности $p - p_0$ между атмосферным давлением и давлением под колоколом.

Высота столба спирта в миллиметрах, эквивалентная созданному под колоколом разрежению $p - p_0$ (приведенная к масштабу испытуемого микроманометра), рассчитывается по формуле

$$A_{абс} = k(G - G_0),$$

где

$$k = \frac{10}{\gamma F \left(1 + \frac{F_1}{F} \frac{\Delta F}{F_1 + F_2} \right) m}.$$

Здесь γ — удельный вес спирта в тарируемом микроманометре в г/см³; F — внутренняя площадь поперечного сечения колокола в см²; F_1 — площадь поверхности воды под колоколом в см²; F_2 — площадь поверхности воды в сосуде в см²; ΔF — кольцевая площадь поперечного сечения стенок колокола в см²; m — масштаб тарируемого микроманометра; $G - G_0$ — показания весов в г.

Примечание. Для имеющейся в ЛПИ установки $F = 78,18$ см²; $F_2 = 47,91$ см²; $F_1 = 39,69$ см²; $\Delta F = 3,14$ см².

Таблица 2

Микроманометр фирмы _____ № _____

$m =$		$k =$		$G_0 =$	$a =$	$\gamma =$
№ пп.	A	$A - a$	G	$G - G_0$	$A_{абс.}$ мм	
	мм		г			

Для каждого масштаба испытуемого микроманометра строятся тарировочные кривые: $A - a = f(A_{абс.})$.

3. Для данного микроманометра строятся кривые относительных погрешностей при различных наклонах.

РАБОТА 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ОТВЕРСТИЯ СКОРОСТНОЙ ТРУБКИ

Задание

1. Измерить распределение давления по поверхности носика скоростной трубки.

2. Построить кривую безразмерного давления и определить место расположения статического отверстия.

Схема установки изображена на рис. 3, где $T1$ — модель скоростной трубки; $T2$ — эталонная скоростная трубка; $M0$ — микроманометр для определения скоростного напора; $M1$ — микроманометр (или батарейный манометр) для измерения распределения давления по корпусу модели.

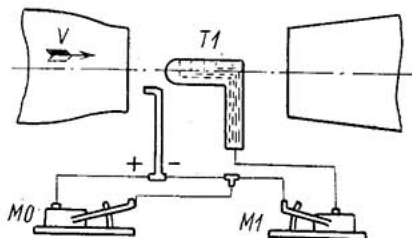


Рис. 3

Порядок производства работы

1. При одном режиме работы аэродинамической трубы измеряется распределение давления по корпусу модели трубки. Результаты записываются в таблицу.

$m_0 =$		$m_1 =$		$a_0 =$		$a_1 =$	
№ точек	\bar{s}_i	A_0	A_1	$A_0 - a_0$	$A_1 - a_1$	\bar{p}_i	
		ММ					

В таблице A_0, A_1 — показания микроманометров $M0$ и $M1$; s_i — безразмерная координата i -й точки, отсчитанная от носика трубки и отнесенная к диаметру трубки; \bar{p}_i — безразмерный коэффициент давления, рассчитываемый по формуле, равен

$$\bar{p}_i = \frac{p_i - p_0}{\rho V^2 / 2} = \frac{(A_1 - a_1) m_1 \gamma_1}{(A_0 - a_0) m_0 \gamma_0}.$$

2. Строится график распределения давления: $\bar{p} = f(\bar{s})$.

3. Определяется область на носике трубки, где можно поместить щель.

РАБОТА 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВочНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАСАДКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ НАСАДКА ОТ УГЛА МЕЖДУ ЕГО ОСЬЮ И СКОРОСТЬЮ ПОТОКА

Задание

1. Проградуировать насадок методом сравнения с эталонном.

2. Определить зависимость показания насадка от угла между его осью и скоростью потока.

Схема установки дана на рис. 4.

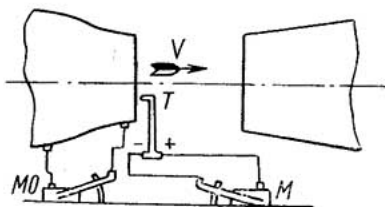


Рис. 4

Порядок производства работы

1. Устанавливается эталонный насадок согласно рис. 4 и фиксируются показания микроманометра M на различных режимах работы трубы, определяемых по микроманометру MO .

На место эталонного насадка устанавливается испытуемый насадок, с которым повторяется та же операция. Отсчеты показаний насадков в обоих случаях ведутся по одному и тому же микроманометру.

Показания снимаются не менее, чем при 10 различных скоростях потока воздуха в трубе и записываются в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№ замеров	$m_0 =$	$a_0 =$	$m =$	$a =$
	A_0	$A_э$	$A_0 - a_0$	$A_э - a$
ММ				

Таблица 2

$m_0 =$	$a_0 =$	$m =$	$a =$
A_0	A_{II}	$A_0 - a_0$	$A_{II} - a$
ММ			

В табл. 1 и 2 A_0 — показание микроманометра MO ; A_3 — показание микроманометра M при замерах эталонной трубкой; $A_{и}$ — показание микроманометра M при замерах испытуемой трубкой.

1. Строятся графики величин $A_3 - a$ и $A_{и} - a$ в зависимости от $A_0 - a_0$ и определяется поправочный коэффициент $\zeta = \zeta_{ст} \sqrt{\frac{A_3 - a}{A_{и} - a}}$ по графически осредненным значениям $A_3 - a$ и $A_{и} - a$.

2. Вычисляются наибольшая и наименьшая скорости потока, при которых производилась тарировка, по формуле:

$$V = \zeta \sqrt{\frac{2(A_{и} - a) m \gamma}{\rho}} \text{ м/с.}$$

2. Определяется зависимость показаний насадка от угла (α) между его осью и скоростью потока. Измерения производятся на той же установке с насадком, снабженным специальным лимбом для определения угла поворота. Угол и показания микроманометров записываются в табл. 3, где $[A - a]$ — приведенные к одному режиму показания микроманометра M ; $[A - a]_{\alpha}$ и $[A - a]_0$ — показания микроманометров при различных углах α и для $\alpha = 0$.

Таблица 3

№ замеров	$m_0 =$		$a_0 =$		$m =$		$a =$		Примечание
	α , град	A_0 A мм	$A_0 - a_0$ $A - a$ мм	$A - a$ $[A - a]$	$[A - a]_{\alpha}$ $[A - a]_0$				
									$(A_0 - a_0)_* =$

Приведение показаний микроманометра M к одному режиму должно быть осуществлено в том случае, если во время работы скорость потока аэродинамической трубы менялась из-за случайных колебаний напряжения в электрической сети, питающей мотор трубы. Приведение показаний микроманометра M к одному режиму работы трубы, характеризующему некоторым перепадом давлений в коллекторе ($A_0 - a_0$), может быть сделано по закону прямой пропорции:

$$[A - a] = (A - a)n^2,$$

где $n^2 = \frac{(A_0 - a_0)_*}{A_0 - a_0}$. Здесь $(A_0 - a_0)_*$ — показание режимного микроманометра, выбранное самим учащимся (следует, как правило, выбирать наиболее часто повторяющееся в данном эксперименте значение режимного микроманометра MO).

По данным табл. 3 строится график: $\frac{[A - a]_{\alpha}}{[A - a]_0} = f(\alpha)$.

РАБОТА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Задание

1. Определить поле скоростей и давлений в рабочей части аэродинамической трубы:

- а) у выхода потока из коллектора;
- б) в среднем сечении;
- в) у входа потока в диффузор;
- г) вдоль по оси рабочей части трубы.

2. Построить поля скоростей и давлений.

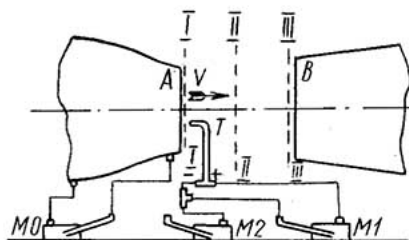


Рис. 5

На рис. 5, где приведена схема опыта, приняты обозначения: T — скоростная трубка; MO — микроманометр, измеряющий перепад давления в коллекторе; $M1$ — микроманометр, измеряющий скоростной напор; $M2$ — микроманометр, измеряющий разность между статическим давлением в исследуемой точке потока и атмосферным давлением.

Порядок производства работы

1. Собирается схема согласно рис. 5. При постоянной скорости потока, поддерживаемой по перепаду давления в коллекторе MO , производятся измерения статического и динамического напоров в сечениях $I-I$, $II-II$ и $III-III$, а также вдоль оси трубы.

Замеры производятся в 20—25 точках в каждом сечении по двум взаимно-перпендикулярным диаметрам. Результаты измерений записываются в таблицу, в которой r — расстояние от оси трубы (или расстояние z от сечения $I-I$ вдоль оси); A_0, A_1, A_2 — соответственно показания микроманометров $MO, M1, M2$, $[A_1 - a_1]$ и $[A_2 - a_2]$ — приведенные к одному режиму работы трубы показания микроманометров $M1$ и $M2$. Метод приведения к одному режиму указан в работе 3.

$m_0 =$	$a_0 =$	$m_1 =$	$a_1 =$	$m_2 =$	$a_2 =$					
r	A_0	A_1	A_2	$A_0 - a_0$	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$[A_1 - a_1]$	$[A_2 - a_2]$	\bar{V}	\bar{p}
мм										

2. Скорость и давление в любой точке потока будут:

$$V = \zeta \sqrt{\frac{2m_1\gamma_1 [A_1 - a_1]}{\rho}}; \quad (1)$$

$$p - p_a = m_2\gamma_2 [A_2 - a_2]. \quad (2)$$

Определяются относительные значения скорости $\bar{V} = V/V_0$ и давления $\bar{p} = \frac{p - p_a}{\rho V_0^2}$ (где V_0 — скорость в центре сечения) по формулам:

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{[A_1 - a_1]}{[A_1 - a_1]_0}}; \quad \bar{p} = \frac{[A_2 - a_2]}{[A_1 - a_1]_0}.$$

Здесь $[A_1 - a_1]_0$ — показание манометра MI в центре сечения¹.

Строятся графики зависимости \bar{V} и \bar{p} от расстояния r или z . Вычисляются также абсолютные значения скорости и давления в центре сечения $I-I$ по формулам (1) и (2).

РАБОТА 5

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ХОРОШО И ПЛОХО ОБТЕКАЕМЫХ ТЕЛ

Задание

1. Измерить сопротивление хорошо обтекаемого тела и ряда плохо обтекаемых тел (шара, пластинки и др.) с одинаковыми миделевыми сечениями.

2. Составить таблицу коэффициентов сопротивления хорошо и плохо обтекаемых тел.

Схема установки приводится на рис. 6.

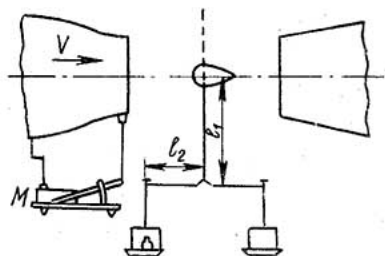


Рис. 6

Порядок производства опыта

1. Собирается схема установки согласно рис. 6.
2. При нескольких скоростях потока производятся изме-

¹ При определении изменения скорости и давления вдоль оси трубы за V_0 принимается значение скорости в центре сечения $I-I$.

рения силы сопротивления (диапазон скоростей дается руководителем) на рычажных однокомпонентных весах.

3. В том же диапазоне скоростей определяется сопротивление державки в присутствии модели.

Скорость потока определяется по перепаду давления в коллекторе трубы, который измеряется микроманометром.

Результаты опытов для каждого тела записываются в табл. 1.

Таблица 1

№ пп.	a =				m =			[G ₁] кг
	A мм	G кг	A ₁ мм	G ₁ кг	A - a A ₁ - a мм		$\frac{A - a}{A_1 - a}$	

В таблице G — нагрузка на чашку весов для уравновешивания сопротивления модели с державкой; G_1 — нагрузка на чашку весов для уравновешивания сопротивления державки в присутствии модели; A — показания микроманометра MO при измерении сопротивления модели с державкой; A_1 — показания микроманометра MO при измерении сопротивления державки.

Нагрузка на чашку весов при измерении сопротивления державки приводится к той же скорости, при которой измерялось сопротивление модели, по формуле:

$$[G_1] = G_1 \frac{A - a}{A_1 - a}.$$

Вычисление силы сопротивления тела без державки производится по формуле:

$$R_x = (G - [G_1]) l_2 / l_1,$$

где l_1 — расстояние от оси качания весов до центра давления модели; l_2 — горизонтальное плечо весов.

Значения R_x записываются в табл. 2. Записываются результаты расчета:

а) скорости V , определяемой с помощью тарировочной кривой трубы по измеренному перепаду давления $A - a$;

б) коэффициента сопротивления данного тела по формуле:

$$C_x = \frac{R_x}{\rho \frac{V^2}{2} S};$$

в) чисел Рейнольдса $Re = VD/\nu$,

где D и S — соответственно диаметр и площадь миделева сечения.

Таблица 2

№ пп.	$G - [G_1]$	R_x	V м/с	$\rho \frac{V^2}{2}$ кг/м ²	C_x	Re	Примечание
	кг						
							$S =$ $D =$ $\nu =$

После выполнения расчетов составляется сводная таблица коэффициентов сопротивления различных тел.

РАБОТА 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ С ПОДСЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТОВ C_x и C_y

Задание

1. Измерить распределение давления по поверхности крылового профиля в потоке при нескольких углах атаки.

2. Построить диаграммы распределения давления по поверхности профиля при различных углах атаки.

3. Рассчитать коэффициенты подъемной силы и сопротивления давления профиля.

На рис. 7, где показана схема установки MO — микроманометр для измерения скоростного напора; M — микроманометр или батарейный манометр для измерения давления на поверхности крыла.

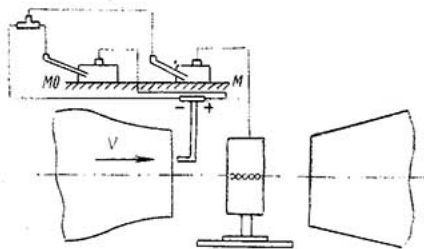


Рис. 7

Порядок производства работы

Собирается схема согласно рис. 7 и при нескольких углах атаки измеряется распределение давления по поверхности крыла. Результаты измерения записываются в табл. 1 для каждого угла атаки отдельно.

№ пп.	$a_0 =$		$a =$		$m_0 =$		$m =$		Примечание
	s_i	$\frac{s_i}{b}$	A_i	A_0	$A_i - a$	$A_0 - a_0$	$\frac{A_i - a}{A_0 - a_0}$	\bar{p}	
	мм		мм						$b =$

В таблице s_i — расстояние от передней кромки профиля до i -й точки, измеренное по обводу профиля; b — хорда профиля; A_i — показание i -й трубки батарейного манометра в мм; A_0 — показание микроманометра MO в мм.

Производится расчет безразмерных коэффициентов давления по формуле:

$$\bar{p} = \frac{p - p_0}{\frac{\rho V_0^2}{2}} = \frac{(A_i - a) m \gamma}{(A_0 - a_0) m_0 \gamma_0}$$

По вычисленным \bar{p} строятся диаграммы распределения давления по поверхности крыла $p = f(s)$ для каждого угла атаки. Коэффициенты сопротивления давления C_{xd} и подъемной силы C_y рассчитываются по формулам:

$$C_{xd} = C_t \cos \alpha + C_n \sin \alpha;$$

$$C_y = C_n \cos \alpha - C_t \sin \alpha,$$

где C_t и C_n — коэффициенты составляющих R_t и R_n равнодействующей силы R по осям, связанным с профилем (рис. 8).

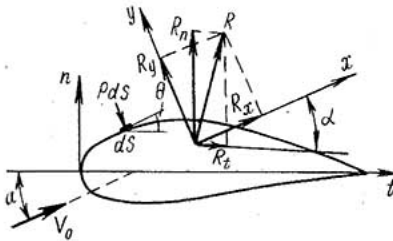


Рис. 8

Проекции вектора \vec{R} на оси t и n запишутся в виде:

$$R_n = - \oint (p - p_0) \cos \theta ds = - \oint (p - p_0) dt;$$

$$R_t = \oint (p - p_0) \sin \theta ds = \oint (p - p_0) dn,$$

где t и n — координаты точек профиля, отложенные по хорде и по нормали к хорде профиля; θ — угол между касательной к профилю и хордой.

Коэффициенты C_t и C_n рассчитываются интегрированием кривой распределения давления по следующим формулам:

$$C_t = \frac{\oint (p - p_0) dn}{\frac{\rho V_0^2}{2} b} = \oint \bar{p} d\bar{n}; \quad C_n = \frac{- \oint (p - p_0) dt}{\frac{\rho V_0^2}{2} b} = - \oint \bar{p} d\bar{t},$$

где $\bar{n} = n/b$ и $\bar{t} = t/b$ — безразмерные координаты; b — хорда профиля.

Безразмерные координаты \bar{t}_i , \bar{n}_i и \bar{s}_i тех точек профиля, в которых производилось измерение давления, записываются в табл. 2.

Геометрические характеристики профиля

Таблица 2

Безразм. координ.	№ точек						
	1	2	3	i
\bar{s}_i							
\bar{t}_i							
\bar{n}_i							

Интегрирование производится графическим способом. Для этого строятся кривые $\bar{p}(\bar{t})$ и $\bar{p}(\bar{n})$ и определяются площади, ограниченные этими кривыми.

РАБОТА 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛА

Задание

1. Измерить подъемную силу R_y , лобовое сопротивление R_x и момент M_z крыла заданного удлинения λ при различных углах атаки α .

2. По данным эксперимента рассчитать коэффициенты C_x , C_y , C_{mz} и коэффициент индуктивного сопротивления C_{xi} .

3. Построить графики $C_x = f_1(\alpha)$; $C_y = f_2(\alpha)$; $C_{mz} = f_3(\alpha)$; поляру крыла $C_y = f_4(C_x)$ и параболу индуктивного сопротивления $C_{xi} = f(C_y)$, причем C_{xi} рассчитывается по формуле $C_{xi} = \frac{1}{\pi\lambda} C_y^2$.

Схема установки приведена на рис. 9.

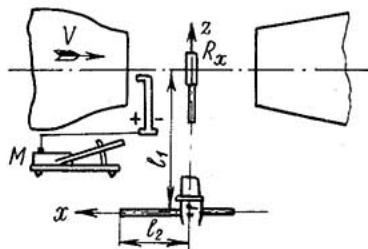


Рис. 9

Порядок производства работы

На аэродинамических весах устанавливается и уравнивается модель крыла. Измеряется начальный угол атаки и записывается начальное показание манометра. Затем при указанных преподавателем углах атаки измеряются скорость потока, подъемная сила, лобовое сопротивление и момент крыла.

Расчетные формулы:

$$C_x' = \frac{R_x}{\frac{\rho V^2}{2} S}; \quad C_y = \frac{R_y}{\frac{\rho V^2}{2} S}; \quad C_{mz} = \frac{M_z}{\frac{\rho V^2}{2} S b},$$

где C_x' — коэффициент лобового сопротивления крыла без учета влияния ограниченности потока; C_y — коэффициент подъемной силы крыла; C_{mz} — коэффициент момента крыла; R_x — сила лобового сопротивления крыла в Н (ньютон); R_y — подъемная сила крыла в Н; M_z — момент крыла в Н·м; $\frac{\rho V^2}{2}$ — скоростной напор, Н/м²; S — площадь крыла в м²; b — хорда крыла в м.

В лаборатории установлены аэродинамические веса английской конструкции, гири которых протарированы с учетом стандартного соотношения плеч весов непосредственно в фунтах и фунтах — футах; цифры, стоящие на гирях, показывают величину сил (или моментов), действующих на модель.

Для перехода к технической системе единицы (Н и Н·м) необходимо в формулы расчета ввести поправочные коэффициенты k_x , k_y , k_z .

Таким образом, $R_x = k_x R_x'$ — сила лобового сопротивления в Н; $R_y = k_y R_y'$ — подъемная сила в Н; $M_z = k_z M_z'$ — момент в Н·м; R_x' — сила лобового сопротивления в фунтах; R_y' — подъемная сила — в фунтах; M_z' — момент в фунтах·футах, где $k_x = k_y = 4,452$ Н/фунт; $k_z = 1,376$ Н·м/фунт·фут.

Скоростной напор, измеряемый скоростной трубкой, вычисляется по формуле

$$\frac{\rho V^2}{2} = \xi^2 m \gamma_{\text{сп}} (A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}).$$

Расчетные формулы записываются в виде:

$$C_x' = \frac{R_x}{\xi^2 m \gamma_{\text{сп}} (A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}) S} \frac{L_{\text{ст}}}{L_H + \Delta l};$$

$$C_y = \frac{R_y}{\xi^2 m \gamma_{\text{сп}} (A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}) S} \frac{L_{\text{ст}}}{L_H + \Delta l};$$

$$C_{mz} = \frac{M_z}{\xi^2 m \gamma_{\text{сп}} (A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}) S b k},$$

где $h = L_{ст}/(L_n + \Delta l)$ — поправочный множитель к показаниям весов, возникший за счет изменения расстояния от оси трубы до центра качания весов и неточной установки модели; $k = 7,87$ — поправочный коэффициент моментного прибора. Здесь $L_{ст} = 1600$ мм — расстояние, принятое при тарировке гирь; $L_n = 1783$ мм — действительное расстояние центра весов от оси трубы; Δl — смещение центра модели от оси аэродинамической трубы (определяется при установке модели в трубе).

$$C_x = C_{x'} - \Delta C_x; \quad \Delta C_x = \frac{1}{8} \frac{S}{F} C_y^2 (1 + \delta),$$

где $F = \pi R^2$ — площадь поперечного сечения рабочей части трубы.

Величина δ определяется в зависимости от отношения размаха крыла к диаметру сечения струи l/D по следующим данным:

l/D	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$1 + \delta$	1,0015	1,0050	1,0130	1,0255	1,0500

Расчетные данные записываются в предлагаемую ниже таблицу.

$a =$		$b =$		$\frac{l}{D} =$		$S =$		$G_1 =$		$l_1 =$					
$m =$		$D =$		$1 + \delta =$		$F =$		$A - a =$		$l_2 =$					
α' град	$R_{x'}$	$R_{y'}$	M_z' фунт-фут	$A_{ск}$	$A_{ск} - a_{ск}$	$\frac{\rho V^2}{2}$	$C_{x'}$	C_y	C_{mz}	$\Delta \alpha$	α	C_y^2	ΔC_x	C_x	C_{xi}
	фунт														

Затем строятся экспериментальные кривые C_x , C_y , C_{mz} , как функции от угла α (рис. 10).

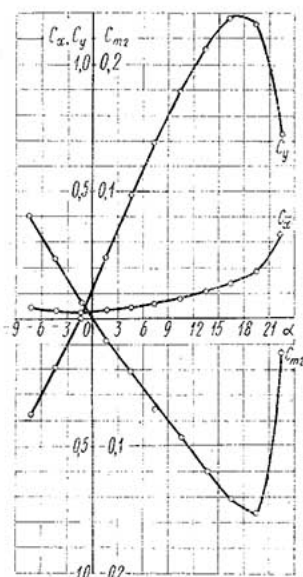


Рис. 10

РАБОТА 8

ТАРИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗОНДА

Задание

Протарировать цилиндрический зонд.

Схема установки дана на рис. 11, где *З* — цилиндрический зонд; *М1* — микроманометр, присоединенный к центральному отверстию зонда (*A*₁); *М2* — микроманометр, присоединенный к центральному и одному из боковых отверстий зонда (*A*₂); *М3* — микроманометр, присоединенный к боковым отверстиям зонда; *М0* — микроманометр, измеряющий перепад давлений в трубе (*A*₀).

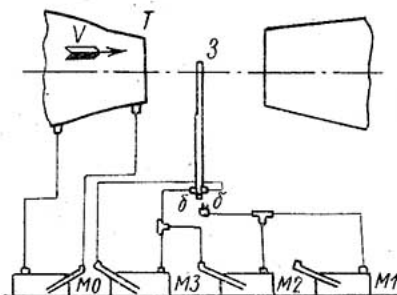


Рис. 11

Порядок производства работы

1. Собирается схема согласно рис. 11.
2. При различных скоростях потока, определяемых по перепаду давлений в трубе, записываются показания микроманометров *М1* и *М2*, определяется нулевой угол φ_0 . Результаты опытов записываются в табл. 1.

Примечание. У всех микроманометров должен быть общий масштаб. В противном случае показания приводятся к одному масштабу.

Таблица 1

$m_0 =$		$m_1 =$		$m_2 =$			
$a_0 =$		$a_1 =$		$a_2 =$			
№ пп.	A_0	A_1	A_2	φ_0	$A_0 - a_0$	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$
	мм			град	мм		

Перед каждой записью следует вращением зонда вокруг его оси добиваться нулевого показания микроманометра *М3*.
Строятся графики зависимости (рис. 12);

$$(A_1 - a_1) = f(A_0 - a_0); \quad (A_2 - a_2) = f(A_0 - a_0).$$

3. Цилиндрический зонд вынимается из координатника, и в том же месте потока укрепляется скоростная трубка. На тех же примерно скоростях, при которых производилась тарировка зонда, определяется скоростной напор и статическое давление (табл. 2) и строятся графики (рис. 12):

$$(A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}) = f(A_0 - a_0) \text{ и } (A_{\text{ст}} - a_{\text{ст}}) = f(A_0 - a_0).$$

Таблица 2

$a_0 =$	$a_{\text{ск}} =$	$a_{\text{ст}} =$	$m_0 =$	$m_{\text{ск}} =$	$m_{\text{ст}} =$
A_0	$A_{\text{ск}}$	$A_{\text{ст}}$	$A_0 - a_0$	$A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}$	$A_{\text{ст}} - a_{\text{ст}}$
ММ					

Здесь $A_{\text{ск}}$ — показания микроманометра, присоединенного к скоростной трубке; $A_{\text{ст}}$ — показания микроманометра, измеряющего статическое давление; A_0 — показания микроманометра, измеряющего перепад давления в трубе при определении скоростного напора и статического давления.

При выбранном перепаде $[A_0 - a_0]$ с графиков (рис. 12) снимаются значения скоростного напора $[A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}]$, статического давления $[A_{\text{ст}} - a_{\text{ст}}]$, перепадов давлений $[A_1 - a_1]$ и $[A_2 - a_2]$, по которым и производится расчет тарифовочных коэффициентов $K_{\text{ц}}$ и $K_{\text{ц}} - K_{\text{б}}$ с помощью формул:

$$K_{\text{ц}} = \frac{[A_1 - a_1] - [A_{\text{ст}} - a_{\text{ст}}]}{[A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}]} ; K_{\text{ц}} - K_{\text{б}} = \frac{[A_2 - a_2]}{[A_{\text{ск}} - a_{\text{ск}}]}.$$

Определяется среднее значение угла φ_0 , как среднее арифметическое значений углов в области перепадов давления $[A_0 - a_0]$, близких к выбранному перепаду $[A_0 - a_0]$.

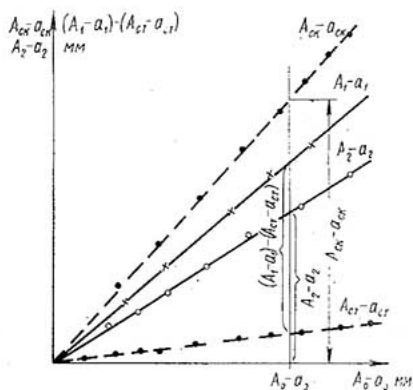


Рис. 12

РАБОТА 9

ТАРИРОВАНИЕ ШАРОВОГО ЗОНДА

Задание

Протарировать шаровой зонд и построить тарировочные кривые.

Схема установки, показанная на рис. 13, содержит 3 — шаровой зонд; ЛЗ — лимб, неподвижно скрепленный с зондом; К — координатник; ЛК — лимб координатника, по которому производится отсчет угла δ , т. е. угла между осью центрального отверстия и вектором скорости в плоскости,

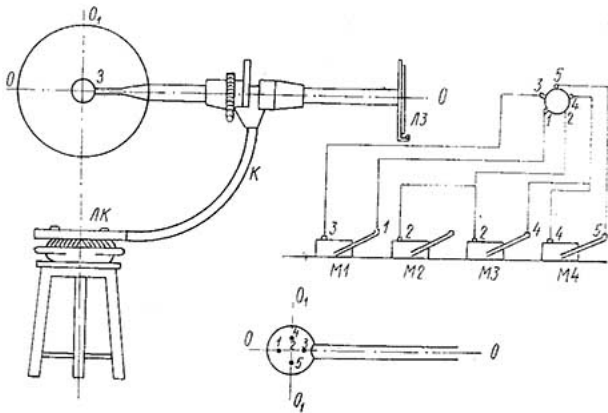


Рис. 13

проходящей через 1, 2 и 3-е отверстия зонда; $M1$ — микроанометр, присоединенный к 3 и 1-му отверстиям зонда (A_1); $M2$ — микроанометр, присоединенный ко 2-му отверстию зонда (A_2); $M3$ — микроанометр, присоединенный ко 2 и 4-му отверстиям зонда (A_3); $M4$ — микроанометр, присоединенный к 4 и 5-му отверстиям.

Порядок производства работы

1. Собирается схема согласно рис. 13, причем зонд устанавливается так, чтобы вертикаль O_1O_1 проходила через центры зонда и лимба координатника.

2. Определяется угол φ_0 .

3. Устанавливая по лимбу координатника шаровой зонд под различными углами δ (в пределах $\pm 45^\circ$ через 5°), записывают показания микроанометров $M1$, $M2$ и $M3$.

Кроме того, записывают показания микроанометра $M0$, измеряющего перепад давления в трубе (A_0).

Перед каждой записью следует вращением шарового зонда вокруг оси $O-O$ добиваться нулевого показания микроманометра $M4$.

4. Шаровой зонд вынимается из координатника, и в том же месте потока, где был центр шарового зонда, укрепляется скоростная трубка.

На тех же примерно скоростях, при которых производилась тарировка зонда, определяется скоростной напор ($A_{ск}$) и статическое давление ($A_{ст}$) (табл. 2).

Примечание. У всех микроманометров должен быть один масштаб. В противном случае все показания приводятся к одному масштабу.

Таблица 1

$a_0 =$		$a_1 =$				$a_2 =$				$a_3 =$				$\varphi_0 =$	
$m_0 =$		$m_1 =$				$m_2 =$				$m_3 =$					
№ пп.	δ	A_0	A_1	A_2	A_3	$A_0 - a_0$	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$A_3 - a_3$	$[A_{ск} - a_{ск}]$	$[A_{ст} - a_{ст}]$	K_0	$K_3 - K_1$	K_2	$K_2 - K_4$
	град	мм													

Таблица 2

$a_0 = a_{ск} = a_{ст} = m_0 = m_{ск} = m_{ст} =$					
A_0'	$A_{ск}$	$A_{ст}$	$A_0' - a_0$	$A_{ск} - a_{ск}$	$A_{ст} - a_{ст}$
мм					

В табл. 1 и 2: A_0' — показание микроманометра, измеряющего перепад давления в трубе при определении скоростного напора; $[A_{ск} - a_{ск}]$ — скоростной напор, приведенный к соответствующему перепаду $A_0 - a_0$; $[A_{ст} - a_{ст}]$ — статическое давление, приведенное к соответствующему перепаду $A_0 - a_0$.

Расчет тарировочных коэффициентов производится по формулам:

$$K_0 = \frac{A_1 - a_1}{A_3 - a_3}; \quad K_3 - K_1 = \frac{A_1 - a_1}{[A_{ск} - a_{ск}]};$$

$$K_2 = \frac{(A_2 - a_2) - [A_{ст} - a_{ст}]}{[A_{ск} - a_{ск}]}; \quad K_2 - K_4 = \frac{A_3 - a_3}{[A_{ск} - a_{ск}]}.$$

Затем строятся тарировочные кривые (рис. 14).

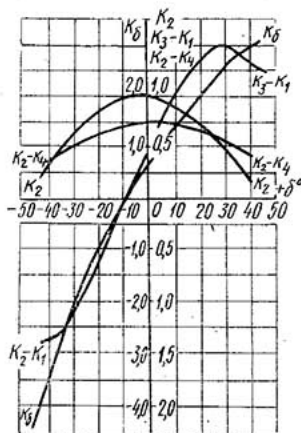


Рис. 14

Полученными тарировочными кривыми пользуются в дальнейшем при измерении зондом скоростей и давлений в каком-либо пространственном потоке.

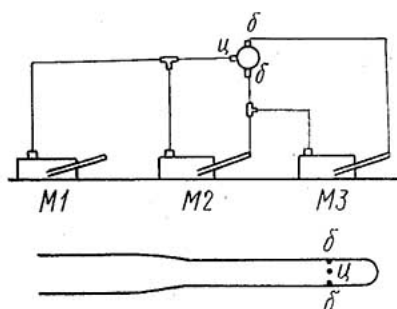
РАБОТА 10

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ЗОНДОМ

Задание

Измерить поле скоростей цилиндрическим зондом.

На схеме установки на рис. 15 обозначены следующие элементы: $M1$ — микроманометр, присоединенный к центральному отверстию зонда



(A_1); $M2$ — микроманометр, присоединенный к центральному и одному из боковых отверстий зонда (A_2); $M3$ — микроманометр, присоединенный к боковым отверстиям зонда; $M0$ — микроманометр, присоединенный к коллектору трубы или к скоростной трубке.

Рис. 15

Порядок производства работы

1. Зонд помещается в то место потока, где хотят определить величину, направление скорости и давление; собирается схема согласно рис. 15.

2. Записываются показания микроманометров $M1$ и $M2$, и по лимбу определяется угол φ' .

Перед каждой записью следует вращением зонда вокруг его оси возвращать показание микроманометра $M3$ на нуль. Результаты опытов записываются в таблицу.

Примечание. У микроманометров $M1$ и $M2$ должен быть один масштаб.

		$a_1 =$	$a_2 =$	$\varphi_0 =$	$a_0 =$				
		$m_1 =$	$m_2 =$		$m_0 =$				
№ п.п.	A_0	A_1	A_2	φ'	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	V	$p - p_a$	$\varphi = \varphi' - \varphi_0$
	мм			град	мм		м/с	гк/м ²	град

Расчет V и $p - p_a$ производится по формулам:

$$V = \sqrt{\frac{2(A_2 - a_2) m \gamma}{(K_u - K_6) \rho}};$$

$$p - p_a = (A_1 - a_1) m \gamma - \frac{K_u}{K_u - K_6} (A_2 - a_2) m \gamma.$$

РАБОТА 11

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ ШАРОВЫМ ЗОНДОМ

Задание

Измерить поле скоростей шаровым зондом.

Схема установки приведена на рис. 16. На схеме обозначены следующие элементы: $M1$ — микроманометр, присоединенный к 3 и 1-му отверстиям зонда (A_1); $M2$ — микроманометр, присоединенный к 2-му отверстию зонда (A_2); $M3$ — микроманометр, присоединенный к 2 и 4-му отверстиям зонда (A_3); $M4$ — микроманометр, присоединенный к 4 и 5-му отверстиям зонда; $M0$ — микроманометр, присоединенный к коллектору трубы или к скоростной трубке.

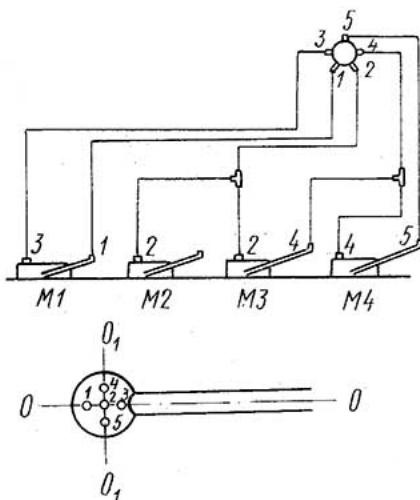


Рис. 16

Порядок производства работы

1. Зонд помещается в том месте потока, где хотят определить величину и направление скорости и давление; собирается схема согласно рис. 68.

2. Записываются показания микроманометров, и по лимбу определяется угол φ' ; перед каждой записью следует вращением зонда вокруг оси возвращать микроманометр $M4$ на начальный отсчет. Результаты опыта записываются в таблицу.

Примечание. У микроанометров $M1$, $M2$ и $M3$ должен быть один масштаб.

$\varphi_0 =$	$a_1 =$	$m_1 =$	$a_2 =$	$m_2 =$	$a_3 =$	$m_3 =$					
	$a_0 =$	$m_0 =$									
№ пп.	φ'	A_0	A_1	A_2	A_3	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$A_3 - a_3$	K_δ	δ	$K_3 - K_1$
	град	мм						град			

Продолжение

$K_2 - K_4$	K_2	V	$p - p_a$	φ	V_x	V_y	V_z
		м/с	кг/м ²	град	м/с		

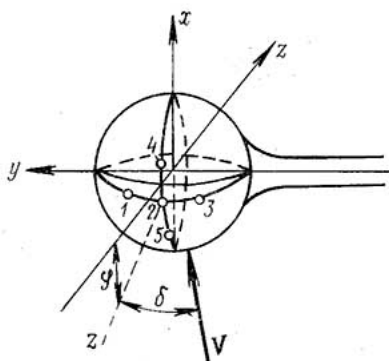


Рис. 17

На рис. 17 ось z находится в горизонтальной плоскости, ось z_1 проходит через отверстие 2. Вектор скорости V расположен в плоскости yz_1 , если давление в отверстиях 4 и 5 одинаковы. Угол между вектором V и осью z_1 обозначен через δ , а угол между плоскостями yz и yz_1 через φ .
Здесь

$$K_\delta =$$

$$= \frac{A_1 - a_1}{A_3 - a_3}; \quad \varphi = \varphi' - \varphi_0.$$

Расчет V и $p - p_a$, а также проекций скорости производится по формулам:

$$V = \sqrt{\frac{2m\gamma(A_3 - a_3)}{\rho(K_2 - K_4)}};$$

$$p - p_a = m\gamma \left[A_2 - a_2 - \frac{K_2}{K_2 - K_4} (A_3 - a_3) \right];$$

При выборе осей x , y , z , указанном на рис. 17, имеем: $V_x = V \cos \delta \sin \varphi$; $V_y = V \sin \delta$; $V_z = V \cos \delta \cos \varphi$.

РАБОТА 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ПЛАСТИНЕ

Задание

Измерить распределение скоростей по нормали к пластине в четырех точках ее поверхности и построить профили скоростей.

2. По измеренным распределениям скоростей в четырех точках рассчитать и провести кривые изменения характерных толщин пограничного слоя по длине пластины.

3. По кривой зависимости толщины потери импульса от x определяется коэффициент местного трения c_f в каждой из четырех точек и строится кривая $c_f(x)$.

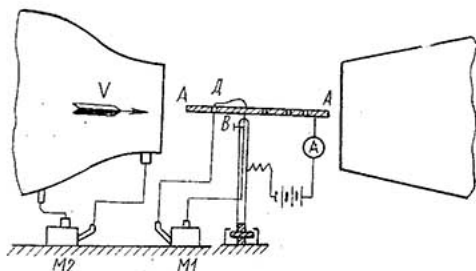


Рис. 18

На схеме установки (рис. 18) показано: AA — плоская пластина; B — микротрубка полного напора; D — дренажное отверстие на пластине для определения статического давления; $M1$ и $M2$ — микроманометры; E — источник тока; A — миллиамперметр.

Порядок производства работы

1. Проверяется собранная схема. Вращением микрометрического винта координатника устанавливается начальный отсчет. Фиксирование начального отсчета производится с помощью электрической цепи.

2. Записываются показания микроманометров $M1$ и $M2$ при различных расстояниях носика трубки от пластинки.

Трубка перемещается до тех пор, пока показания микроманометра $M1$ не станут постоянными (при постоянном показании микроманометра $M2$); число точек надо брать достаточным для того, чтобы построить профиль скоростей (от

15 до 30). Режим, при котором производятся измерения, указывается преподавателем. Если режим во время работы меняется, то все показания микроманометра $M1$ приводятся к одному режиму.

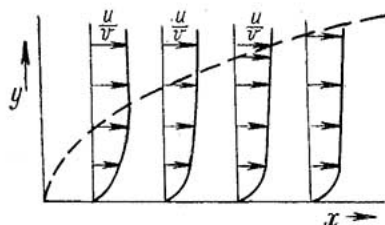


Рис. 19

3. Закончив измерения в одном сечении, микро трубку снимают и перемещают ее вместе с координатником в другое сечение, в котором производятся те же измерения. Распределение скорости должно иметь вид, показанный на рис. 19.

Полученные результаты записываются в таблицу.

		$a_1 =$		$m_1 =$		$a_2 =$		$m_2 =$	
№ замера	y	A_1	A_2	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$[A_1 - a_1]$	$\frac{u}{U} = \sqrt{\frac{[A_1 - a_1]}{[A_1 - a_1]_{\max}}}$		
	мм								

По данным таблицы определяются: толщина пограничного слоя δ , толщина вытеснения δ^* и толщина потери импульса δ^{**} в точках, в которых производились измерения:

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy; \quad \delta^{**} = \int_0^{\delta} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy; \quad H = \frac{\delta^*}{\delta^{**}}.$$

Результаты работы оформляются в виде кривых:

1. $u/U = \varphi(y)$;
2. $u/U = f_1(y/\delta)$;
3. $\delta = f_2(x)$;
4. $\delta^* = f_3(x)$;
5. $\delta^{**} = f_4(x)$;
6. $H = f_5(x)$.

Профили скоростей сравниваются с профилями, построенными по параболическому и степенному законам.

Считая, что в области ламинарного пограничного слоя профиль скоростей близок к параболическому, т. е.

$$\frac{u}{U} = \frac{y}{\delta} \left(2 - \frac{y}{\delta}\right),$$

а в турбулентном пограничном слое — к степенному, т. е.

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7},$$

путем сравнения этих профилей с экспериментальными установливают точку перехода.

Коэффициент местного трения

$$c_f = \frac{\tau_w}{\frac{\rho V^2}{2}}$$

вычисляется после определения трения на стенке τ_w из формулы:

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} = \frac{\tau_w}{\rho V^2}.$$

Примечание. Если на небольшом расстоянии от пластины AA (см. рис. 17) установить криволинейную стенку, обращенную выпуклой стороной к пластине, то поток между пластиной и криволинейной стенкой будет иметь продольный перепад давлений.

В этом случае все величины, определенные в пограничном слое на пластине AA , будут соответствовать тем же величинам в пограничном слое некоторого крылового профиля.

Изменением формы криволинейной стенки можно менять характер продольного перепада давлений, т. е. как бы форму крылового профиля.

Напряжение трения на стенке τ_w в этом случае может быть определено по формуле:

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{U'\delta^{**}}{U} (2 + H) = \frac{\tau_w}{\rho V^2}.$$

РАБОТА 13

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ КРУГЛОЙ ГЛАДКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Задание

1. Измерить распределение давления вдоль по оси в круглой гладкой цилиндрической трубе. Определить конец начального участка и по падению давления $\Delta p/\Delta l$ в области равномерного течения определить коэффициент сопротивления трубы λ .

Сравнить полученный экспериментально коэффициент сопротивления с вычисленным по теоретической формуле (для логарифмического закона сопротивления).

2. Измерить распределение скоростей по диаметру трубы и построить профиль скоростей в безразмерных координатах

$$u/u_{max} = f(y/r_0).$$

3. Найти аналитическое выражение для полученного профиля скоростей. Для этой цели построить профиль скоростей в логарифмических координатах

$$\lg \left(\frac{u}{u_{max}} \right) = f \left[\lg \frac{y}{r_0} \right]$$

и определить показатель степенного закона, которому отвечает полученный профиль скоростей.

4. Сравнить полученный экспериментально профиль скоростей с теоретическим (логарифмическим) профилем скоростей. Для этой цели нанести на график теоретического профиля скоростей

$$u/v_* = 5,5 + 5,75 \lg(y/l_*)$$

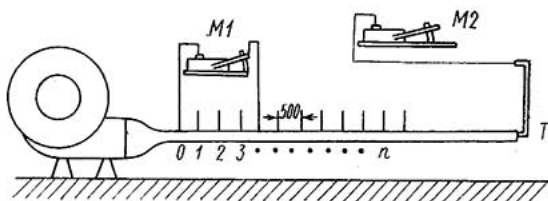


Рис. 20

точки, отвечающие полученному экспериментально профилю, который построен в безразмерных координатах

$$u/v_* = f[\lg(y/l_*)].$$

Элементы установки на схеме рис. 20 имеют следующие обозначения: *M1* — микроманометр, соединенный с отверстиями 0, 1, 2, ..., *n*, расположенными по длине испытуемой трубы; *M2* — микроманометр для измерений скоростного поля; *T* — трубка полного напора для измерения скоростного поля.

Порядок производства работы

1. Определяется распределение давлений вдоль трубы, для чего последовательно измеряются разности давлений между отверстиями 1, 2, 3, ... и отверстием 0.

Скоростная трубка устанавливается в центре выходного сечения трубы и служит для контроля режима.

Показания микроманометра *M1* приводятся к одному из показаний микроманометра *M2*.

Результаты наблюдений записываются в табл. 1.

Таблица 1

$m_1 =$		$m_2 =$		$a_1 =$		$a_2 =$	
№ сечений	Расстояние между нулевым и i -м отверстиями (l)	A_1	A_2	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$[A_1 - a_1]$	$\rho_0 - \rho_i$
		мм					

2. Скоростной трубкой измеряется поле скоростей по радиусу в выходном сечении трубы. Для контроля режима микроанометр $M1$ включается между какими-нибудь двумя дренажными отверстиями в стенке трубы.

Показания микроанометра $M2$ приводятся к одному режиму работы вентилятора.

Результаты измерений записываются в табл. 2.

Таблица 2

$m_1 = r$		$a_1 =$		$m_2 =$		$a_2 =$		Радиус трубы $r_0 =$		
y	$r = r_0 - y$	y		A_1	A_2	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$[A_2 - a_2]$	u	$\frac{u}{u_{\max}}$
мм		r_0		мм					м/с	

Расчетные формулы

1. Средняя скорость по сечению

$$u_{\text{ср}} = \frac{Q}{F} = \frac{2\pi \int_0^{r_0} r u dr}{\pi r_0^2} \text{ м/с,}$$

где r — расстояние от центра трубы до точки измерения.

2. Коэффициент сопротивления

$$\lambda = \frac{\Delta p}{\Delta l} \frac{d}{\rho u_{\text{ср}}^2},$$

где Δp — перепад давления между двумя сечениями в области равномерного течения; Δl — расстояние между этими сечениями; d — диаметр трубы.

3. Законы сопротивления

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2,0 \lg (\operatorname{Re} \sqrt{\lambda}) - 0,8;$$

$$\lambda = \frac{0,3154}{\operatorname{Re}^{0,25}} \quad (\text{при } \operatorname{Re} < 10^5)$$

или

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{\operatorname{Re}^{0,237}} \quad (\text{при } \operatorname{Re} > 10^5),$$

где $\operatorname{Re} = u_{\text{ср}} d / \nu$.

4. Логарифмический профиль скоростей

$$u/v_* = 5,5 + 5,75 \lg (y/l_*); \quad l_* = \nu/v_*$$

где $v_* = \sqrt{\tau_w/\rho}$ — динамическая скорость; $\tau_w = \frac{\Delta p}{\Delta l} \frac{r_0}{2}$ — напряжение силы трения на стенке; y — расстояние от стенки трубы до точки измерения.

Построить следующие графики:

1. $p_0 - p = f_1(l)$ и определить $\Delta p/\Delta l$;
2. $u/u_{\text{max}} = f_2(y/r_0)$;
3. $\lg(u/u_{\text{max}}) = f_3[\lg(y/r_0)]$ и определить показатель степени $1/n$ степенного закона $u/u_{\text{max}} = (y/r_0)^{1/n}$;
4. $u/v_* = f_4[\lg(y/l_*)]$, теоретическую и экспериментальную кривые.

РАБОТА 14

ТАРИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА

Задание

1. Протарировать диафрагмы с различным отношением диаметра диафрагмы к диаметру трубопровода.

2. Построить кривую зависимости коэффициента расхода диафрагмы от отношения ее диаметра к диаметру трубопровода.

Схема установки дана на рис. 21. На рис. 21 приняты обозначения: D — тарируемый прибор; $M1$ — микроманометр для контроля постоянства режима потока; $M2$ — микроманометр

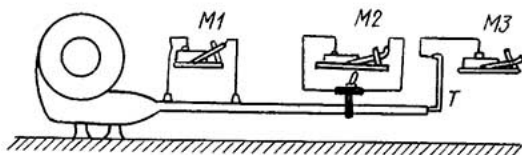


Рис. 21

метр для измерения перепада давления в тарируемом приборе; $M3$ — микроманометр для измерения скоростного поля.

Порядок производства работы

В некотором сечении воздухопровода устанавливаются измерительная шайба, диафрагма или прибор Вентури. При некотором расходе воздуха измеряют перепад статических давлений $p_1 - p_2$ в тарируемом приборе. После этого в выходном сечении трубы измеряют скоростное поле потока и вычисляют расход. Отношение этого расхода к теоретическому, вычисленному на основании данных перепада давлений, дает коэффициент расхода прибора при данном числе Рейнольдса.

Результаты измерений записываются в таблице.

$a_1 =$	$a_2 =$	$a_3 =$	$r_0 =$	$F =$					
$m_1 =$	$m_2 =$	$m_3 =$	$n =$						
y	$r = r_0 - y$	A_1	A_2	A_3	$A_1 - a_1$	$A_2 - a_2$	$A_3 - a_3$	$[A_3 - a_3]$	u
мм									
									м/с

Расчетные формулы

1. Теоретический объем воздуха, протекающий через тарируемый прибор, вычисляется по формуле

$$Q_t = F \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)}}$$

где $p_1 - p_2$ — перепад давления в приборе, выраженный в Н/м^2 ; n — отношение площади поперечного сечения трубы

к площади отверстия диафрагмы; F — площадь отверстия диафрагмы.

2. Действительный объемный расход

$$Q = 2\pi \int_0^{r_0} r u dr.$$

Здесь r_0 — радиус трубы. Интеграл вычисляется по правилу трапеций.

3. Исследуемый коэффициент расхода

$$k = Q/Q_t.$$

Если при измерении скоростного поля трубы режим работы вентилятора колеблется, то показания микроманометра M_3 должны быть приведены к одному показанию микроманометра M_1 .

В заключение строится кривая $k = f(n)$, и для каждой диафрагмы рассчитывается число Рейнольдса, при котором производился эксперимент:

$$Re = \bar{u}d/\nu,$$

где d — диаметр диафрагмы; $\bar{u} = \frac{Q}{\pi d^2/4}$ — средняя скорость течения через диафрагму.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Правила техники безопасности для студентов, выполняющих учебные работы в лаборатории аэродинамики	3
Правила составления отчетов	4
Работа 1. Тарирование микроманометра методом сравнения с эталонным микроманометром и абсолютным методом	6
Работа 2. Определение места расположения статического отверстия скоростной трубки	9
Работа 3. Определение поправочного коэффициента насадка для измерения скорости и изучение зависимости показаний насадка от угла между его осью и скоростью потока	10
Работа 4. Исследование скоростного поля в рабочей части аэродинамической трубы	12
Работа 5. Измерение коэффициентов сопротивления хорошо и плохо обтекаемых тел	13
Работа 6. Исследование распределения давления по поверхности тел с подсчетом коэффициентов C_x и C_y	15
Работа 7. Определение аэродинамических характеристик крыла	17
Работа 8. Тарирование цилиндрического зонда	20
Работа 9. Тарирование шарового зонда	22
Работа 10. Измерение скоростей и давлений цилиндрическим зондом	24
Работа 11. Измерение скоростей и давлений шаровым зондом	25
Работа 12. Исследование пограничного слоя на пластине	27
Работа 13. Изучение скоростного поля круглой гладкой цилиндрической трубы и измерение ее гидравлического сопротивления	29
Работа 14. Тарирование приборов для измерения расхода воздуха	32

Составители: *Николай Иванович Акатнов, Иван Лукич Повх,
Лорен Гаевич Степанянц, Евгения Петровна Сизьмина*

Методические указания к лабораторным работам по курсу
«Гидроаэродинамика».

Корректоры: *Тарасова Н. Н., Рутковская С. Д.*

Сдано в набор 29/XII 1975 г.

Подписано к печати 28/IV 1976 г.

Формат бум. 60×90^{1/16}.

Объем 2,25 п. л.

Заказ 1261.

Тираж 750.

Бесплатно

Лаборатория полиграфических машин Ленинградского ордена Ленина
политехнического института имени М. И. Калинина
195251, Ленинград, Политехническая ул., 29.