

Государственный комитет РСФСР
по делам науки и высшей школы
Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
ПО ПОВЕРХНОСТИ ПИЛ ВРАЩЕНИЯ
ПРИ ДОЗВУКОВОЙ СКОРОСТИ

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1991

Составитель М.В.Цыганов

УДК 629.7.015 (75.8)

Исследование распределения давления по поверхности пил вращения при дозвуковой скорости: Метод. указания /Самар. авиац. ин-т; Сост. М.В.Цыганов, Самара, 1991. 10 с.

Лабораторная работа составлена на основе рабочей программы курса гидромеханики. Описание работы позволяет студентам самостоятельно проводить эксперимент, обработку результатов и формулировать выводы по физике процесса. Работа подготовлена на кафедре "Аэрогидродинамика".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензент канд. техн. наук В.Н.Кравцов

Ц е л ь р а б о т ы : определение нормальной и осевой сил и их коэффициентов, вычисляемых на основе замера распределения гидродинамического давления по поверхности тела на различных углах атаки.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Лобовое сопротивление тел в общем случае состоит из различных видов сопротивлений: трения, давления, индуктивного, волнового и сопротивления от интерференции различных элементов, составляющих летательный аппарат (ЛА). Подъемная сила возникает из-за перераспределения давления на наветренной и подветренной частях ЛА. Различие между силами сопротивления и продольной, а также между подъемной и нормальной силой заключается в выборе систем координат-скоростной и связанной.

В данной работе на основе изучения распределения давления по поверхности тела вращения необходимо определить осевую и нормальную силы, возникающие при угле атаки α , не равном нулю. Информация о распределении давления по поверхности обтекаемых тел используется не только для определения подъемной силы и силы сопротивления, но и для проведения расчетов на прочность.

Исследование распределения давления проводят с помощью специальных препарированных моделей, точки дренирования на поверхности которых соединены с трубками батарейного манометра.

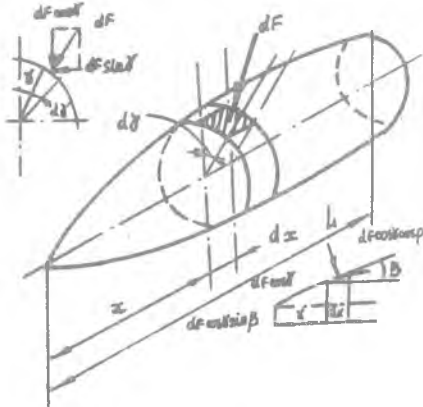
Результаты замеров представлены в безразмерной форме в виде коэффициента давления

$$C_{p_i} = \frac{p_i - p_{\infty}}{q_{\infty}},$$

где p_i - давление, замеряемое в i -й точке, p_{∞} - статическое давление набегающего потока, $q_{\infty} = \frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2$ - скоростной напор набегающего потока.

После построения графиков распределения коэффициентов давления вдоль оси и в поперечных сечениях тела вычисляются аэродинамические силы и их коэффициенты.

Для нахождения сил давления, действующих на тело вращения, рассмотрим на поверхности тела элементарную площадку, образованную двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными оси x , отстоящими друг от друга на расстоянии dx , и двумя плоскостями, проходящими через ось тела и составляющими между собой угол $d\gamma$ (рис. 1). На площадку ds по нормали будет действовать сила давления



$$\begin{aligned} dF &= (p - p_\infty) ds = \\ &= C_p q_\infty ds = \\ &= C_p q_\infty z d\gamma dx. \end{aligned}$$

Разложим эту силу на две составляющие - нормальную dY к оси тела и осевую dx . Отсюда

$$\begin{aligned} dY &= -dF \cos \beta \cos \gamma = \\ &= -C_p q_\infty z d\gamma dx \cos \beta \cos \gamma = \\ &= -C_p q_\infty z dx d\gamma \cos \gamma, \end{aligned}$$

Р и с. 1. Схема сил, действующих на тело вращения

$$\begin{aligned} dx &= dF \sin \beta = C_p q_\infty z d\gamma dx \sin \beta = \\ &= C_p q_\infty z dx d\gamma \operatorname{tg} \beta. \end{aligned}$$

Интегрируя по поверхности тела и учитывая, что распределение давления симметрично относительно нулевой меридиальной плоскости ($\gamma = 0$), получим следующие формулы для определения нормальной и осевой составляющих сил гидродинамического давления на боковую поверхность тела:

$$\begin{aligned} Y_{\text{бок}} &= -2q_\infty \int_0^L \int_0^{\frac{\pi}{2}} C_p z \cos \gamma dx d\gamma = -2q_\infty \int_0^L z dx \int_0^{\frac{\pi}{2}} C_p \cos \gamma d\gamma, \\ X_{\text{бок}} &= 2q_\infty \int_0^L \int_0^{\frac{\pi}{2}} C_p z \operatorname{tg} \beta dx d\gamma = 2q_\infty \int_0^L z \operatorname{tg} \beta dx \int_0^{\frac{\pi}{2}} C_p d\gamma. \end{aligned}$$

Вводя безразмерные переменные $\bar{z} = z/R_{\text{мид}}$ и $\bar{x} = x/L$, перейдем к коэффициентам нормальной и осевой силы ($S_{\text{мид}} = \pi R_{\text{мид}}^2$, $L = L/(2R_{\text{мид}})$):

$$C_{y_{\text{бок}}} = \frac{Y_{\text{бок}}}{\rho_{\infty} S_{\text{мид}}} = - \frac{4\lambda^2}{\pi} \int_0^1 \bar{z} d\bar{x} \int_0^{\pi} C_p \cos \gamma d\gamma = \quad (1)$$

$$= \frac{4\lambda^2}{\pi} \int_0^1 \bar{z} d\bar{x} \int_0^{\pi} (-C_p \cos \gamma) d\gamma,$$

$$C_{x_{\text{бок}}} = \frac{X_{\text{бок}}}{\rho_{\infty} S_{\text{мид}}} = \frac{4\lambda^2}{\pi} \int_0^1 \bar{z} \operatorname{tg} \beta d\bar{x} \int_0^{\pi} C_p d\gamma. \quad (2)$$

В случае нулевого угла атаки ($\alpha = 0$) боковая сила ($C_{y_{\text{бок}}} = 0$) отсутствует, а выражение для осевой силы упрощается, т.к. картина распределения давления не зависит от меридионального сечения или угла γ , т.е.

$$C_{x_{\text{бок}}} = 4\lambda^2 \int_0^1 C_p \bar{z} \operatorname{tg} \beta d\bar{x}. \quad (3)$$

Если обтекаемое тело имеет донный срез, то для определения осевой силы необходимо учесть давление, действующее на плоскость дна. Для донного среза обычно считают давление постоянным во всех точках. Тогда $X_{\text{дон}} = (p_{\text{дон}} - p_{\infty}) S_{\text{дон}} = C_{p_{\text{дон}}} \rho_{\infty} S_{\text{дон}}$ или, переходя к коэффициенту продольной силы донного среза.

$$C_{x_{\text{дон}}} = \frac{X_{\text{дон}}}{\rho_{\infty} S_{\text{мид}}} = C_{p_{\text{дон}}} \frac{S_{\text{дон}}}{S_{\text{мид}}} = C_{p_{\text{дон}}} \bar{S}_{\text{дон}}. \quad (4)$$

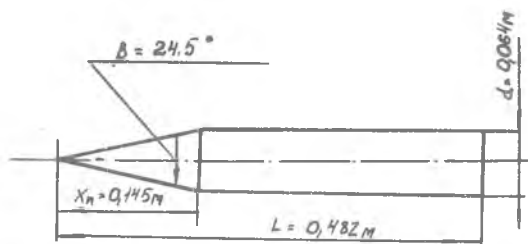
Тогда

$$C_x = C_{x_{\text{бок}}} + C_{x_{\text{дон}}}. \quad (5)$$

Так как на основании экспериментальных исследований получены графики распределения давлений как вдоль, так и поперек тела вращения, то вычисления интегралов, входящих в формулы (1) - (3), необходимо проводить численным интегрированием.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Эксперимент проводится на модели ЛА, состоящей из конической части и цилиндрического корпуса (рис.2). Координаты точек дренирова-

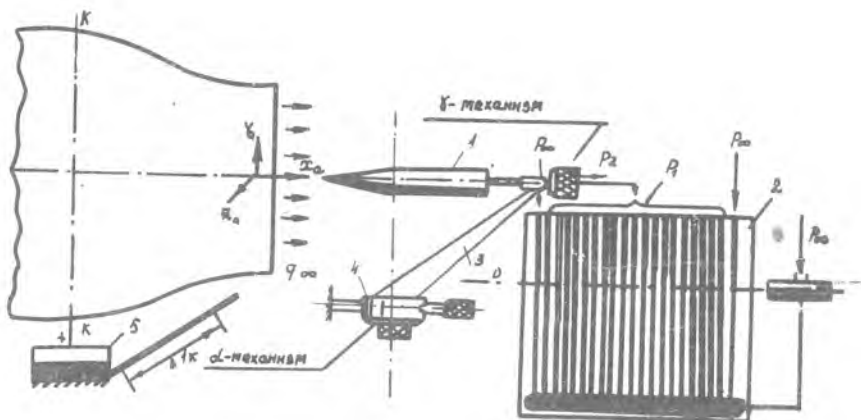


Р и с. 2. Основные размеры продувочной модели

№ точки	I	2	3	4	5	6	7	8	9
\bar{x}	0,0	0,0436	0,0895	0,133	0,175	0,218	0,262	0,302	0,345
№ точки	10	11	12	13	14	15	16	17	18
\bar{x}	0,385	0,426	0,468	0,510	0,552	0,593	0,635	0,677	0,718
№ точки	19	20	21	22	23	24	25	26	27
\bar{x}	0,760	0,800	0,842	0,884	0,925	0,967	0,995	1,0 донные	1,0 точки

ния модели ЛА представлены следующей зависимостью. Модель устанавливается в рабочей части аэродинамической трубы на универсальном координатнике, имеющем α -механизм для установки угла атаки модели и γ -механизм для поворота модели вокруг продольной оси (рис.3). Гибкими трубочками точки дренирования модели ЛА подключены к батарейному манометру. Корпус модели дренирован в одном меридиональном сечении. Для определения распределения давления в других меридиональных сечениях необходимо повернуть модель с помощью γ -механизма на заданный угол.

Величина коэффициента избыточного давления, выраженного через приборные величины, имеет вид



Р и с. 3. Схема экспериментальной установки

$$C_{p_i} = \frac{p_i - p_{\infty}}{\rho_{\infty}} = \frac{(h_i - h_{\infty}) K_{\text{БМ}} \Pi_{\text{БМ}}}{v_{\infty} K_{\alpha_T} \mu_{\text{Ср}} \Pi}, \quad (6)$$

где h_i - показание i -й трубки батарейного манометра, соединенной с i -й точкой дренирования, h_{∞} - показание трубки, открытой в атмосферу (замеряет статическое давление в открытой рабочей части трубы), $K_{\text{БМ}}$, K - коэффициенты батарейного манометра и микроманометра, v_{∞} - показание микроманометра, подключенного к форкамере, α_T - коэффициент сопла трубы, $\mu_{\text{Ср}}$ - коэффициент неравномерности поля скоростей, $\Pi_{\text{БМ}}$, Π - температурные поправки на плотность рабочей жидкости в батарейном манометре и микроманометре.

После обработки результатов измерений по формуле (6) строятся графики подынтегральных функций:

$$f_1(\gamma) = -C_p \cos \gamma;$$

$$f_2(\gamma) = C_p;$$

$$f_3(\bar{x}) = C_p \bar{x} \operatorname{tg} \beta, \quad (0 \leq \bar{x} \leq 145 \text{ мм}, \beta = 12^{\circ} 15').$$

Подсчитав площади этих фигур, находим интегралы

$$\int_0^{\pi} (-C_p \cos \gamma) d\gamma = \int_0^{\pi} f_1(\gamma) d\gamma = \frac{F_1}{m_1 n_1};$$

$$\int_0^{\pi} C_p d\gamma = \int_0^{\pi} f_2(\gamma) d\gamma = \frac{F_2}{m_2 n_2};$$

$$\int_0^1 C_p \bar{z} \operatorname{tg} \beta d\bar{x} = \frac{F_3}{m_3 n_3},$$

где F_i - площади фигур под кривыми f_i ; m_i, n_i - масштабные коэффициенты, указывающие количество единиц измерений площади фигур в единицах шкалы абсцисс и ординат. Площади и масштабные коэффициенты должны быть выражены в одной системе единиц.

Для вычисления коэффициентов нормальной и осевой силы строятся вспомогательные графики подынтегральных функций

$$f_4(\bar{x}) = \bar{z} \int_0^{\pi} (-C_p \cos \gamma) d\gamma;$$

$$f_5(\bar{x}) = \bar{z} \operatorname{tg} \beta \int_0^{\pi} C_p d\gamma.$$

После определения площадей (F_4 и F_5) фигур, образованных этими кривыми, вычисляем значения интегралов

$$\int_0^1 \bar{z} d\bar{x} \int_0^{\pi} (-C_p \cos \gamma) d\gamma = \frac{F_4}{m_4 n_4}; \quad \int_0^1 \bar{z} \operatorname{tg} \beta d\bar{x} \int_0^{\pi} C_p d\gamma = \frac{F_5}{m_5 n_5}.$$

Тогда коэффициенты нормальной и осевой силы определим по следующим формулам:

$$C_{y \text{ док}} = \frac{4a^2}{\pi} \frac{F_4}{m_4 n_4};$$

$$C_{x \text{ док}} = \frac{4a^2}{\pi} \frac{F_5}{m_5 n_5}.$$

Величина донного сопротивления вычисляется по формуле (4). Затем строятся графики зависимости $C_y(\alpha)$ и $C_x(\alpha)$ согласно формулам (5) для ряда углов атаки.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить нулевой угол атаки модели ЛА.
2. Установить $\beta = 0$.
3. Включить трубу, записать l_{∞} .
4. Записать показания h_{∞} и h_i .
5. Установить модель под углом атаки α (задается преподавателем).
6. Записать показания h_{∞} и h_i .
7. Увеличить угол β на 10° .
8. Если $\beta \leq 180^{\circ}$, то повторить пп.6 и 7.
9. Выключить трубу.
10. Обработать результаты экспериментов.
11. Построить графики подынтегральных функций.
12. Определить коэффициенты нормальной и осевой силы.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
ПО ПОВЕРХНОСТИ ПИЛ ВРАЩЕНИЯ
ПРИ ДОЗВУКОВОЙ СКОРОСТИ

Составитель Цыганов Михаил Владимирович

Редактор Т.И.Кузнецова
Техн.редактор Г.А.Усачева

Подписано в печать 9.09.91. Формат 60x84¹/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.п.л.0,5.
Усл.кр.-отт. 0,6. Уч.-изд.л. 0,5. Тираж 250 экз.
Заказ 3842 Бесплатно.
Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Типография им.В.П.Мяги Самарского полиграфического
объединения. 443099 Самара, ул.Венцека,60.