

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Математико-механический факультет  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ  
им. акад. В. И. Смирнова

Проректор по обеспечению реализации  
образовательных программ и осуществления  
научной деятельности по направлениям  
математика, механика, процессы управления,  
физика и химия



С.П.Туник  
12 \_\_\_\_\_ 2011 г.

## Определение аэродинамических характеристик клапана приточной вентиляции ОВЕН

(отчет по договору 10/2011)

Заведующий лабораторией  
аэродинамики  
д.ф.-м.н.

 А. Н. Рябинин

Санкт-Петербург  
2011

## Содержание

Список основных условных обозначений	3
Введение	4
1. Описание эксперимента	5
2. Результаты измерений	8
3. Обработка результатов измерений.	13
Заключение	15
Список использованных источников.	16
Приложение. Программа обработки данных измерений	17

## Список основных условных обозначений

$h_{\text{тр}}$  – показания микроманометра, измеряющего перепад давлений на сопле аэродинамической трубы,  
 $h_{\text{кр}}$  – показания микроманометра, измеряющего перепад давлений на насадке Креля,  
 $G$  - объемный расход воздуха,  
 $k_1, k_2$  – Экспериментально определяемые коэффициенты,  
 $K$  – коэффициент микроманометра,  
 $p_1$  - перепад давления на насадке Пито-Прандтля,  
 $p_2$  - перепад давления на насадке Креля,  
 $p_{\text{тр}}$  – перепад давлений на сопле аэродинамической трубы,  
 $r$  – радиальная координата насадка Креля,  
 $r_1, r_2$  – минимальный и максимальный радиус выходного отверстия клапана,  
 $s$  - площадь сечения воздушного канала,  
 $v_1$  - скорость воздуха на входе клапана,  
 $v_2$  - скорость воздуха на выходе клапана,  
 $y_2, z_2$  - координаты насадка Креля,  
 $\Delta p$  - перепад давлений на клапане приточной вентиляции,  
 $\rho$  - плотность воздуха,  
 $\zeta$  - коэффициент аэродинамического сопротивления.

## Введение

Целью настоящей работы является определение аэродинамического сопротивления клапана приточной вентиляции ОВЕН.

Поставленная цель достигается проведением экспериментальных исследований в дозвуковой аэродинамической трубе, в рабочей части которой устанавливается клапан, вставленный в конструкцию, имитирующую часть стены здания. При включении аэродинамической трубы на клапане создается перепад давления, вызывающий поток воздуха через клапан. Измеряются скорости воздушных потоков. На основе результатов измерения вычисляется аэродинамический коэффициент сопротивления.

## 1. Описание эксперимента

Исследование аэродинамического сопротивления приточного клапана системы вентиляции ОВЕН проводилось в аэродинамической трубе АТ-12 НИИ математики и механики математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Полное описание аэродинамической трубы содержится в статье [1].

Схема исследуемого клапана приведена на рис.1.

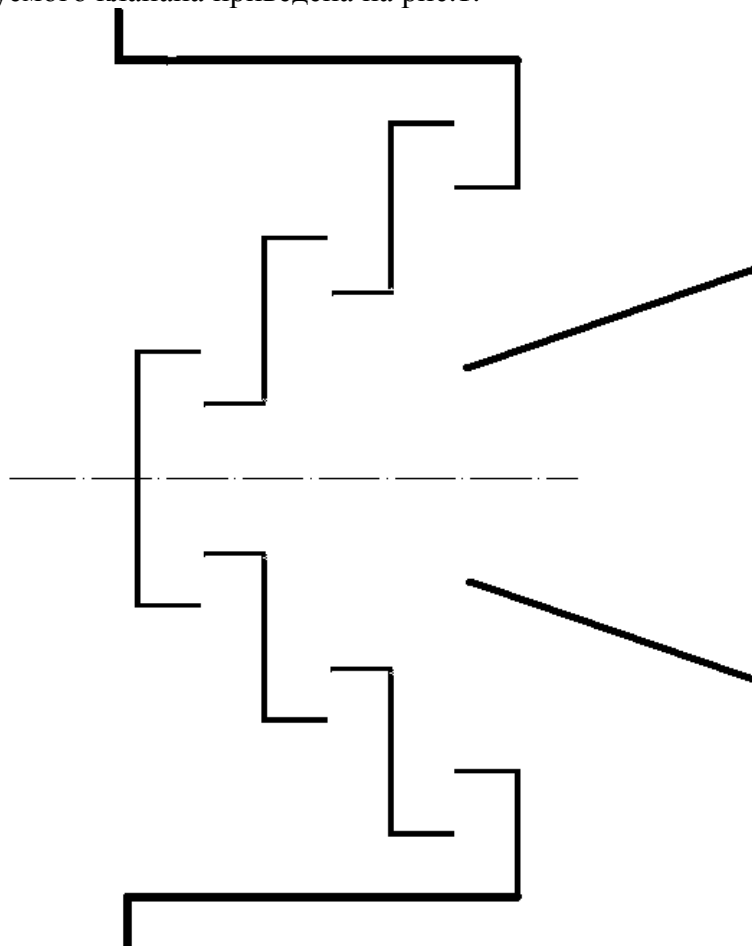


Рис. 1.

На рисунке представлено сечение клапана, который состоит из осесимметричного ветрогасителя и двух заслонок, при необходимости перекрывающих поток воздуха.

В исследовании использовался опыт экспериментального исследования аэродинамического сопротивления приточного канала системы вентиляции [2, 3]. Клапан располагался в рабочей части аэродинамической трубы. Из ДСП были изготовлены пластины, моделирующие часть наружной и часть внутренней поверхности стены здания. В пластинах вырезаны круглые отверстия, диаметр которых равен внешнему диаметру клапана. Полный размер моделируемого участка стены составил  $750 \times 930 \text{ мм}^2$ . На рис. 2 приведена фотография общего вида макета в рабочей части аэродинамической трубы, на рис. 3 – фотография входного участка приточного канала с воздухораспределителем 1, на рис. 4 – фотография выходного участка.

Перед входным участком и на выходе на координатных устройствах устанавливались насадки Пито-Прандтля и Креля (см. рис. 3 и 4), с помощью которых измерялось полное и статическое давление на входе клапана и перепад давлений на насадке Креля.

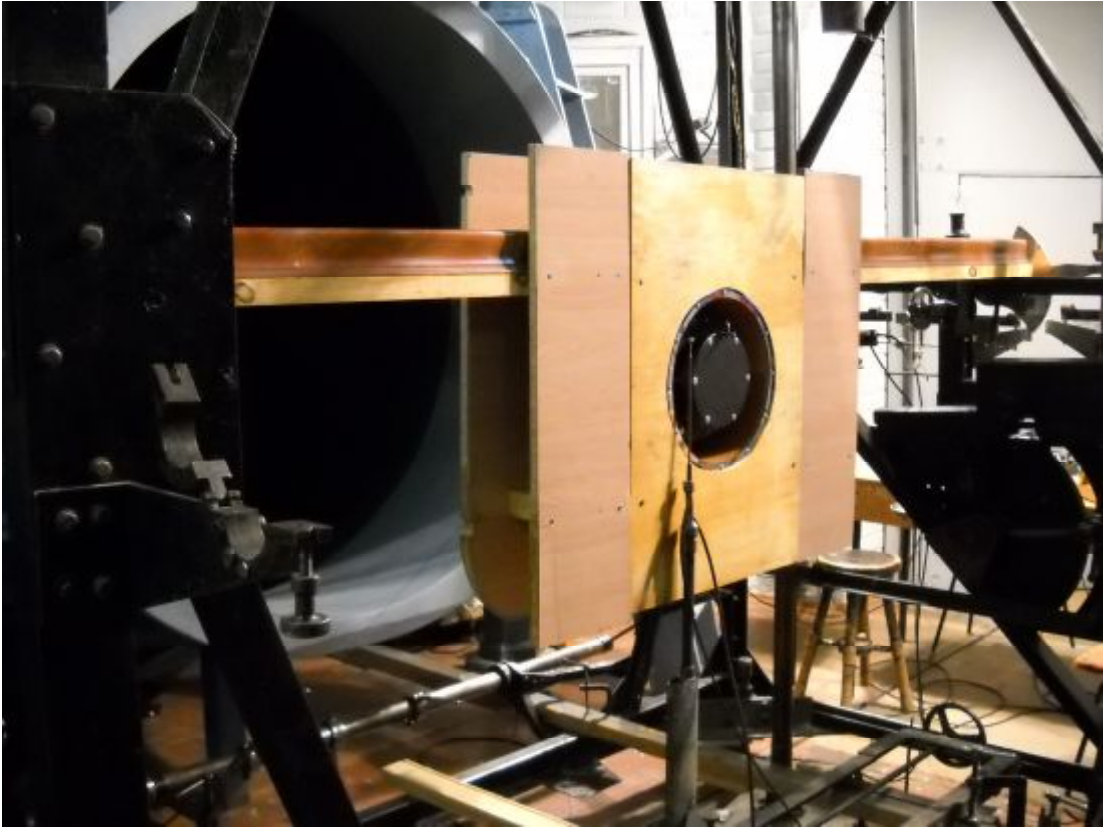


Рис. 2.

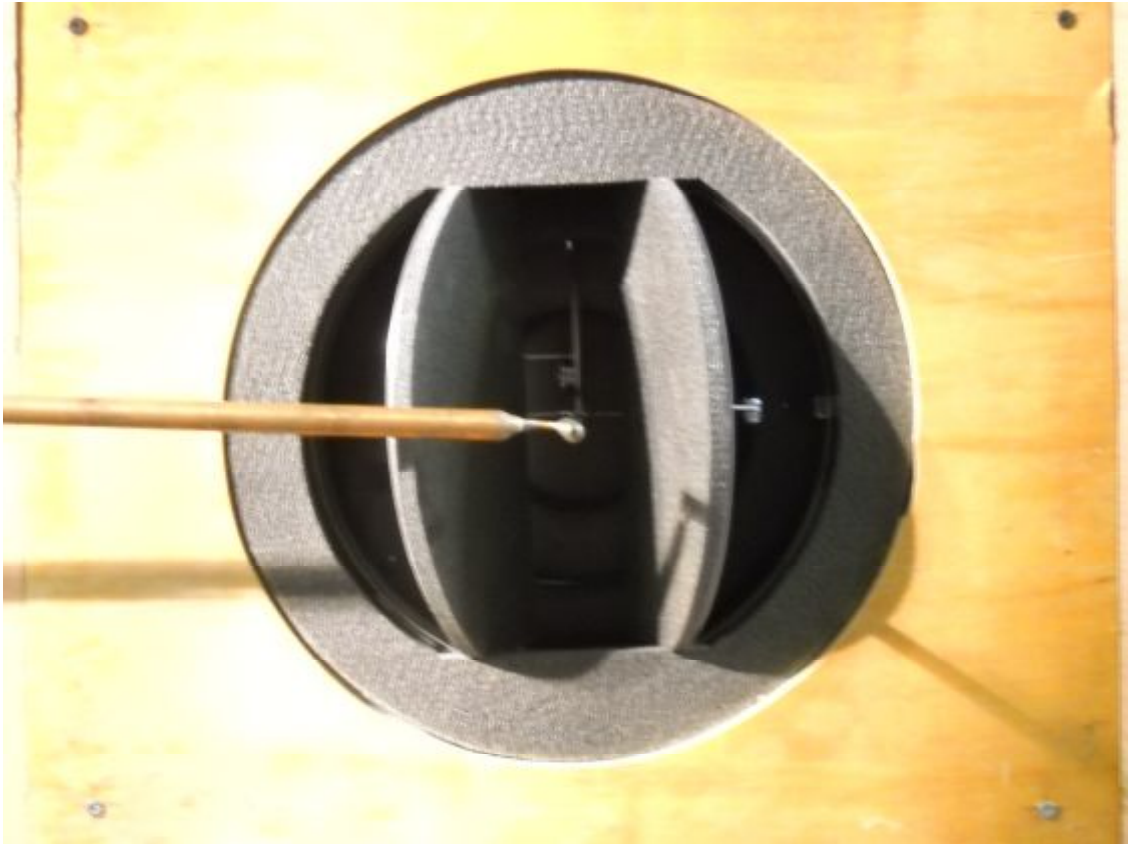


Рис. 3

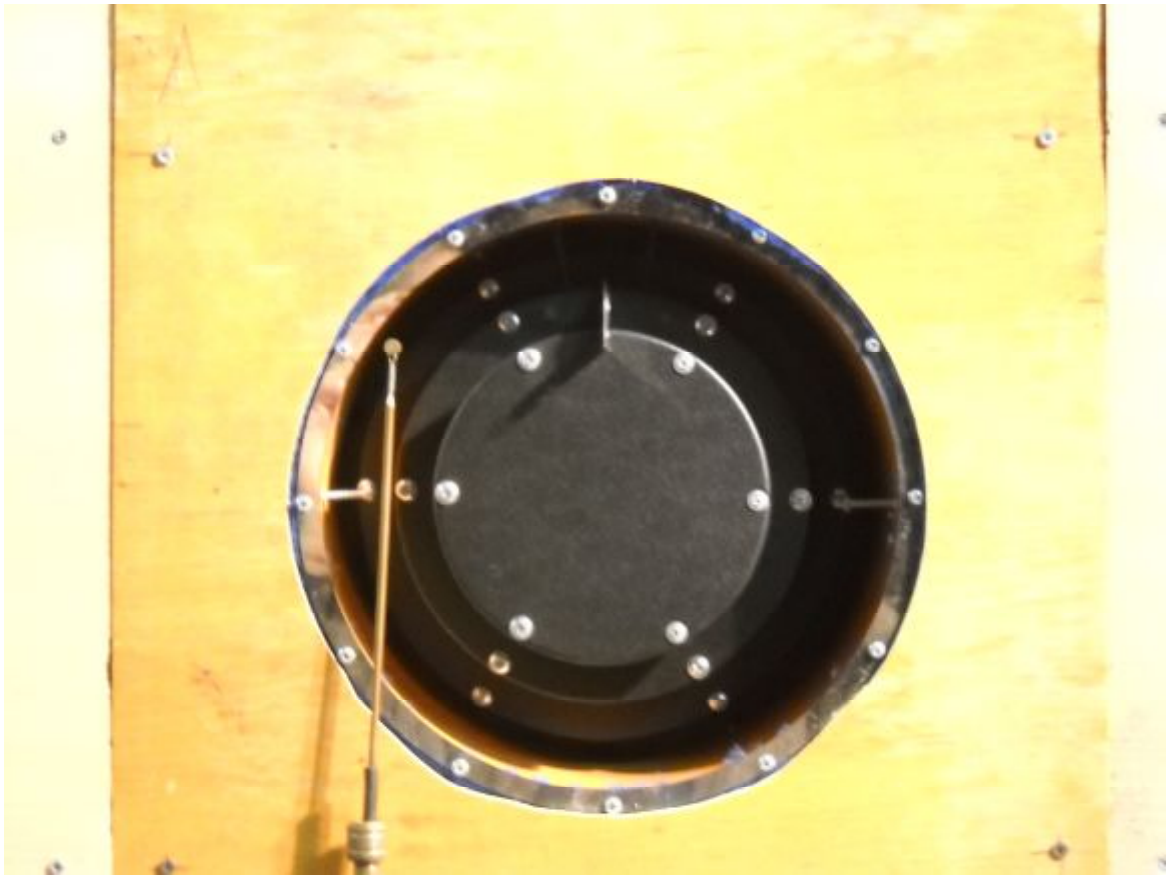


Рис. 4

Давления измерялись спиртовыми микроманометрами с наклонной трубкой типа ММН 240. По перепаду давлений на датчике Креля определялись скорости потока на выходе устройства. Выбор насадка Креля для измерения скоростей потока вместо насадка Пито-Прандтля был обусловлен меньшими его размерами, и, следовательно, меньшими погрешностями определения скорости потока в зоне, где скорости сильно зависят от координат точки измерения.

При включении вентилятора аэродинамической трубы на входе и выходе клапана устанавливался перепад давлений  $\Delta p$ , вызывающий поток воздуха через клапан.

Одновременно с измерениями давлений на насадках измерялся перепад давлений на сопле аэродинамической трубы  $p_{тр}$ . Основная часть экспериментов была проведена при  $p_{тр} \approx 40$  мм вод.ст. и  $p_{тр} \approx 20$  мм вод.ст., изучалось также влияние  $p_{тр}$  на полученные коэффициенты. В отдельном эксперименте перепад давления  $\Delta p$  на входе и выходе клапана измерялся двумя насадками Пито-Прандтля. Установлена его связь с перепадом давления  $p_{тр}$ .

Насадок Пито-Прандтля на входе клапана располагался на оси клапана, разность полного и статического давления  $p_1$ , называемая динамическим напором, позволяла оценить скорость потока на входе, используя формулу

$$p_1 = \frac{\rho v_1^2}{2}, \quad (1)$$

Насадок Креля перемещался в направлениях, перпендикулярных набегающему потоку. Перепад давлений на насадке Креля  $p_2$  связан со скоростью потока  $v_2$  в точке расположения насадка соотношением

$$p_2 = k_2 \frac{\rho v_2^2}{2}, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха. Коэффициент  $k_2=1,32$  был определен экспериментально.

Положение насадка Креля описывалось координатами на  $y_2, z_2$ , причем ось  $y$  была направлена сверху вниз с началом отсчета на оси клапана. Ось  $z$  располагалась горизонтально. Ось  $x$ , совпадающая с направлением потока, и оси  $y, z$  составляли правую систему координат.

## 2. Результаты измерений.

Оказалось, что перепад давлений  $\Delta p$  на входе и выходе, отнесенный к  $p_{тр}$  принимает значение  $k_1 = 1,58$ . Это значение оказалось несколько выше, чем при испытаниях приточного канала вентиляции [2], что можно объяснить большим участком моделируемой стены. В дальнейшем представляется корректным приводить давления, относя их как к  $\Delta p$ , так и к  $p_{тр}$ . В табл.1-4 приведены результаты измерения на выходе клапана при  $p_{тр} \approx 16$  мм вод.ст.= 160 Па.

Таблица 1.

Измерения при  $y_2 = 100$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
1	2	3	4	5
82.0	0.0	0.0000	-105.0	145.0
82.0	9.0	0.1098	-102.5	143.2
83.0	36.0	0.4337	-100.0	141.4
83.0	51.0	0.6145	-97.5	139.7
83.0	61.0	0.7349	-95.0	137.9
83.0	64.0	0.7711	-92.5	136.2
83.0	66.0	0.7952	-90.0	134.5
83.0	66.0	0.7952	-87.5	132.9
83.0	64.0	0.7711	-85.0	131.2
83.0	59.0	0.7108	-82.5	129.6
83.0	54.0	0.6506	-80.0	128.1
83.0	51.0	0.6145	-77.5	126.5
83.0	47.0	0.5663	-75.0	125.0
83.0	43.0	0.5181	-72.5	123.5
83.0	39.0	0.4699	-70.0	122.1
83.0	35.0	0.4217	-67.5	120.6
83.0	29.0	0.3494	-65.0	119.3
84.0	24.0	0.2857	-62.5	117.9
85.0	19.0	0.2235	-60.0	116.6
85.0	16.0	0.1882	-57.5	115.4
85.0	12.0	0.1412	-55.0	114.1
86.0	11.0	0.1279	-52.5	112.9
86.0	9.0	0.1047	-50.0	111.8
86.0	7.0	0.0814	-47.5	110.7
86.0	6.0	0.0698	-45.0	109.7
86.0	5.0	0.0581	-42.5	108.7
86.0	5.0	0.0581	-40.0	107.7



1	2	3	4	5
86.0	4.0	0.0465	-37.5	106.8
86.0	3.0	0.0349	-35.0	105.9
86.0	3.0	0.0349	-32.5	105.1
86.0	2.0	0.0233	-30.0	104.4

Таблица 2

Измерения при  $y_2 = -75$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
1	2	3	4	5
81.0	0.0	0.0000	-124.0	144.9
78.0	0.0	0.0000	-121.5	142.8
79.0	3.0	0.0380	-119.0	140.7
80.0	16.0	0.2000	-116.5	138.6
80.0	35.0	0.4375	-114.0	136.5
79.0	47.0	0.5949	-111.5	134.4
79.0	49.0	0.6203	-109.0	132.3
79.0	51.0	0.6456	-106.5	130.3
79.0	54.0	0.6835	-104.0	128.2
79.0	59.0	0.7468	-101.5	126.2
79.0	60.0	0.7595	-99.0	124.2
79.0	60.0	0.7595	-96.5	122.2
79.0	59.0	0.7468	-94.0	120.3
79.0	55.0	0.6962	-91.5	118.3
79.0	52.0	0.6582	-89.0	116.4
79.0	48.0	0.6076	-86.5	114.5
79.0	45.0	0.5696	-84.0	112.6
79.0	37.0	0.4684	-81.5	110.8
79.0	34.0	0.4304	-79.0	108.9
79.0	30.0	0.3797	-76.5	107.1
79.0	26.0	0.3291	-74.0	105.4
79.0	24.0	0.3038	-71.5	103.6
79.0	21.0	0.2658	-69.0	101.9
79.0	19.0	0.2405	-66.5	100.2
79.0	17.0	0.2152	-64.0	98.6
79.0	15.0	0.1899	-61.5	97.0
79.0	14.0	0.1772	-59.0	95.4
80.0	14.0	0.1750	-56.5	93.9
80.0	13.0	0.1625	-54.0	92.4
81.0	11.0	0.1358	-51.5	91.0
81.0	11.0	0.1358	-49.0	89.6

Таблица 3

Измерения при  $y_2 = 50$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
1	2	3	4	5
81.0	6.0	0.0741	-136.0	144.9
81.0	27.0	0.3333	-133.5	142.6
81.0	50.0	0.6173	-131.0	140.2
83.0	62.0	0.7470	-128.5	137.9

1	2	3	4	5
83.0	69.0	0.8313	-126.0	135.6
83.0	69.0	0.8313	-123.5	133.2
83.0	67.0	0.8072	-121.0	130.9
83.0	62.0	0.7470	-118.5	128.6
83.0	56.0	0.6747	-116.0	126.3
83.0	49.0	0.5904	-113.5	124.0
83.0	42.0	0.5060	-111.0	121.7
83.0	35.0	0.4217	-108.5	119.5
83.0	29.0	0.3494	-106.0	117.2
83.0	22.0	0.2651	-103.5	114.9
83.0	17.0	0.2048	-101.0	112.7
83.0	11.0	0.1325	-98.5	110.5
83.0	8.0	0.0964	-96.0	108.2
83.0	5.0	0.0602	-93.5	106.0
83.0	2.0	0.0241	-91.0	103.8
83.0	0.0	0.0000	-88.5	101.6
83.0	0.0	0.0000	-86.0	99.5

Таблица 4

Измерения при  $y_2 = 0$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
1	2	3	4	5
80.0	0.0	0.0000	-145.0	145.0
80.0	5.0	0.0625	-142.5	142.5
81.0	25.0	0.3086	-140.0	140.0
82.0	32.0	0.3902	-137.5	137.5
82.0	35.0	0.4268	-135.0	135.0
82.0	38.0	0.4634	-132.5	132.5
83.0	43.0	0.5181	-130.0	130.0
83.0	46.0	0.5542	-127.5	127.5
83.0	46.0	0.5542	-125.0	125.0
83.0	45.0	0.5422	-122.5	122.5
83.0	42.0	0.5060	-120.0	120.0
83.0	37.0	0.4458	-117.5	117.5
83.0	32.0	0.3855	-115.0	115.0
83.0	27.0	0.3253	-112.5	112.5
83.0	21.0	0.2530	-110.0	110.0
83.0	16.0	0.1928	-107.5	107.5
83.0	12.0	0.1446	-105.0	105.0
83.0	10.0	0.1205	-102.5	102.5
83.0	7.0	0.0843	-100.0	100.0
84.0	5.0	0.0595	-97.5	97.5
84.0	3.0	0.0357	-95.0	95.0
84.0	1.0	0.0119	-92.5	92.5
84.0	0.0	0.0000	-90.0	90.0

В таблицах 1-4 и ниже использованы обозначения:

$h_{тр}$  – показания микроманометра, измеряющего перепад давлений на сопле аэродинамической трубы;

$h_{кр}$  – показания микроманометра, измеряющего перепад давления на насадке Креля;  
 $r$  – координата точки измерения в цилиндрической системе координат (расстояние от точки измерения до оси клапана).

Переход от показаний микроманометра к давлениям осуществляется умножением на коэффициент микроманометра  $K$ , зависящий от угла наклона трубки. В наших измерениях  $K=0,2$ .

В сокращенном объеме измерения были повторены при  $p_{тр} \approx 8$  мм вод.ст. = 80 Па. Результаты помещены в табл. 5 – 8.

Таблица 5.

Измерения при  $y_2 = 100$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
41.0	5.0	0.1220	-105.0	145.0
41.0	25.0	0.6098	-100.0	141.4
41.0	31.0	0.7561	-95.0	137.9
41.0	33.0	0.8049	-90.0	134.5
41.0	28.0	0.6829	-85.0	131.2
41.0	25.0	0.6098	-80.0	128.1
41.0	22.0	0.5366	-75.0	125.0
41.0	18.0	0.4390	-70.0	122.1
41.0	13.0	0.3171	-65.0	119.3
41.0	8.0	0.1951	-60.0	116.6
42.0	5.0	0.1190	-55.0	114.1
42.0	4.0	0.0952	-50.0	111.8
42.0	2.0	0.0476	-45.0	109.7
41.0	2.0	0.0488	-40.0	107.7
41.0	2.0	0.0488	-35.0	105.9
41.0	2.0	0.0488	-30.0	104.4

Таблица 6

Измерения при  $y_2 = -75$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
42.0	0.0	0.0000	-124.0	144.9
42.0	3.0	0.0714	-119.0	140.7
42.0	23.0	0.5476	-114.0	136.5
42.0	27.0	0.6429	-109.0	132.3
41.0	32.0	0.7805	-104.0	128.2
41.0	32.0	0.7805	-99.0	124.2
41.0	30.0	0.7317	-94.0	120.3
42.0	25.0	0.5952	-89.0	116.4
42.0	21.0	0.5000	-84.0	112.6
42.0	16.0	0.3810	-79.0	108.9
42.0	13.0	0.3095	-74.0	105.4
42.0	10.0	0.2381	-69.0	101.9
42.0	8.0	0.1905	-64.0	98.6
42.0	6.0	0.1429	-59.0	95.4
41.0	6.0	0.1463	-54.0	92.4
41.0	6.0	0.1463	-49.0	89.6

Таблица 7

Измерения при  $y_2 = 50$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
39.0	6.0	0.1538	-136.0	144.9
39.0	30.0	0.7692	-131.0	140.2
39.0	32.0	0.8205	-126.0	135.6
39.0	30.0	0.7692	-121.0	130.9
39.0	24.0	0.6154	-116.0	126.3
39.0	17.0	0.4359	-111.0	121.7
39.0	11.0	0.2821	-106.0	117.2
39.0	6.0	0.1538	-101.0	112.7
39.0	2.0	0.0513	-96.0	108.2
39.0	0.0	0.0000	-91.0	103.8
39.0	0.0	0.0000	-86.0	99.5

Таблица 8

Измерения при  $y_2 = 0$  мм

$h_{тр}$ , дел	$h_{кр}$ , дел	$h_{кр}/h_{тр}$	$z_2$ , мм	$r$ , мм
41.0	16.0	0.3902	-145.0	145.0
41.0	20.0	0.4878	-140.0	140.0
41.0	23.0	0.5610	-135.0	135.0
41.0	21.0	0.5122	-130.0	130.0
41.0	19.0	0.4634	-125.0	125.0
41.0	14.0	0.3415	-120.0	120.0
41.0	10.0	0.2439	-115.0	115.0
41.0	8.0	0.1951	-110.0	110.0
41.0	4.0	0.0976	-105.0	105.0
41.0	2.0	0.0488	-100.0	100.0
40.0	0.0	0.0000	-95.0	95.0
40.0	0.0	0.0000	-90.0	90.0

В одной из точек ( $y_2=0$ ,  $z_2=125$  мм) зависимость скорости от перепада давлений на клапане исследовалась более подробно. Зависимость  $h_{кр}$  от  $h_{тр}$  приведена на рис. 5.

Квадратный корень из отношения давлений  $h_{кр}/h_{тр} = p_2/p_{тр}$  пропорционален скорости потока на выходе клапана. Точки ложатся на одну линию, что свидетельствует о справедливости квадратичного, по отношению к скорости, закона сопротивления.

На рис. 6 представлены зависимости скорости потока в безразмерных единицах от расстояния до оси клапана в четырех сечениях. Кривые отличаются друг от друга. Отличия можно объяснить тем, что в клапане имеются отклонения от осевой симметрии.

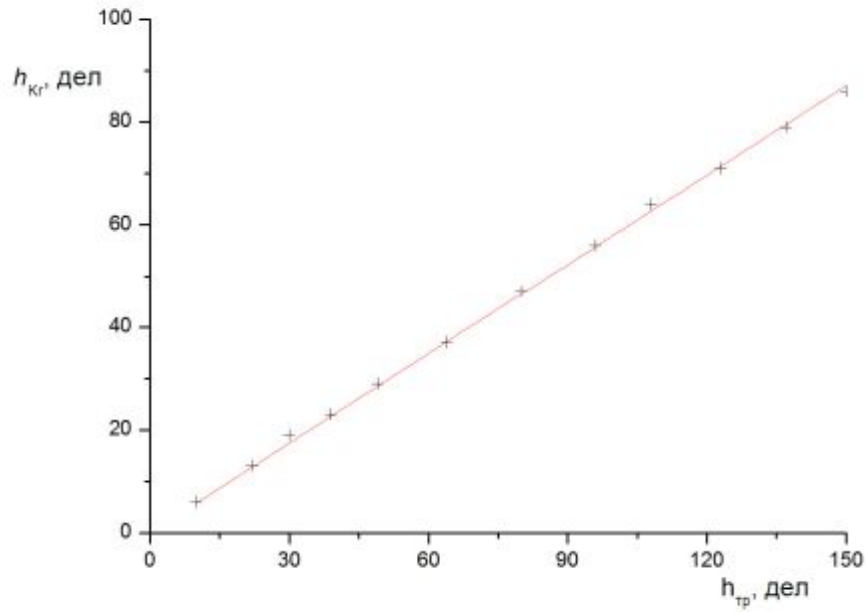


Рис. 5.

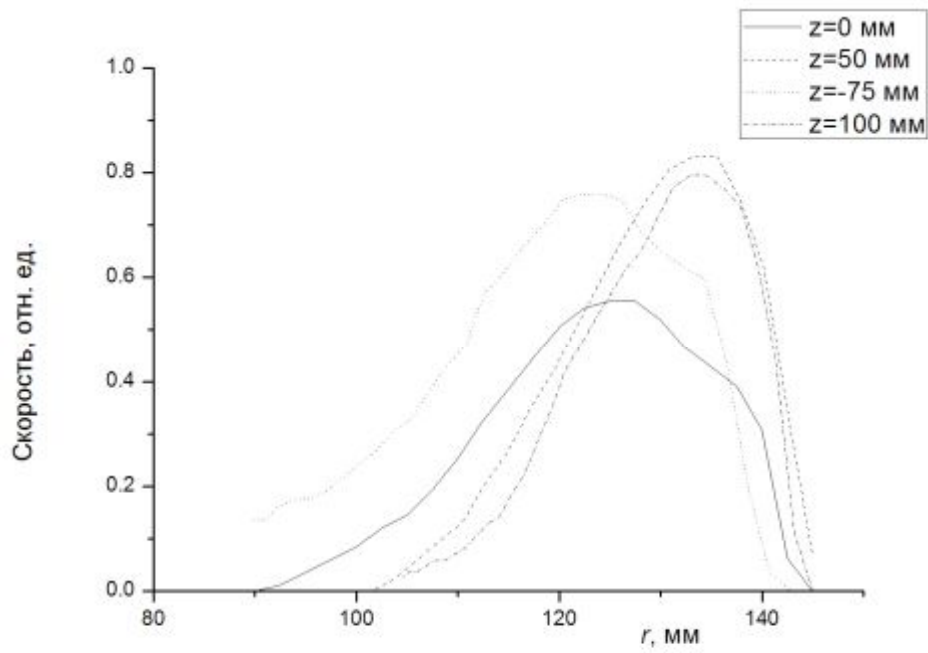


Рис. 6.

### 3. Обработка результатов измерений.

Объемный расход воздуха  $G$  через клапан можно найти интегрированием с использованием формулы

$$G = \int_S v_2 ds = \int_{r_1}^{r_2} v_2 2\pi r dr, \quad (3)$$

где интегрирование производится по площади выходного сечения  $S$ , имеющего форму кольца с внутренним и внешним радиусами  $r_1$  и  $r_2$  соответственно. С учетом формулы (1.2) выражение (1.3) преобразуется к виду

$$G = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\rho k_2}} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{p_2} r dr. \quad (4)$$

В диапазоне квадратичного закона сопротивления аэродинамическое сопротивление устройств удобно описывать коэффициентом сопротивления, который в упомянутом диапазоне не зависит от перепада давлений на устройстве:

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho G^2} (\pi r_2^2)^2. \quad (5)$$

Подстановка (1.4) в формулу (1.5) приводит к выражению

$$\zeta = k_1 k_2 \frac{r_2^4}{4} \left( \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{\frac{p_2}{p_{тр}}} dr \right)^{-2} = k_1 k_2 \frac{r_2^4}{4} \left( \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{\frac{h_{kr}}{h_{тр}}} dr \right)^{-2}. \quad (6)$$

Интеграл, входящий в формулу (1.6), вычислялся численно методом трапеций. Значения интеграла, вычисленные для четырех сечений, усреднялись. Полученный результат, пропорциональный объемному расходу, подставлялся в формулу (6). Значение коэффициента сопротивления, соответствующее перепаду давления  $\Delta p = 252$  Па, оказалось равным

$$\zeta = 20,0. \quad (7)$$

Близкое значение коэффициента сопротивления получилось для другого перепада давления  $\Delta p = 126$  Па (с использованием данных таблиц 5 – 8):

$$\zeta = 20,1. \quad (8)$$

Наконец, результаты измерения скорости потока во входном сечении, позволяют еще раз, на этот раз грубо оценить объемный расход воздуха по формуле

$$G = v_1 \pi r_2^2, \quad (9)$$

предполагая постоянство скорости воздуха во входном сечении. Это постоянство экспериментально было установлено в предыдущих исследованиях [2, 3].

Вычисление коэффициента сопротивления сводится в этом случае к вычислению по очень простой формуле

$$\zeta = \Delta p / p_1 = 127 / 6 \approx 21. \quad (10)$$

Эта оценка является грубой, потому что скорость  $v_1$  мала, мало динамическое давление  $p_1$ , и относительная погрешность определения динамического давления велика. Однако оценка (10) оказывается близкой к значениям коэффициента сопротивления (7) и (8). Для коэффициента сопротивления  $\zeta = 20$  составлена таблица 9, в которой приведены объемные расходы, соответствующие заданным перепадам давления.

Таблица 9

Зависимость объемных расходов от перепадов давления на клапане системы вентиляции.

$\Delta p$ , Па	$G$ , м <sup>3</sup> /с	$G$ , м <sup>3</sup> /час	$\Delta p$ , Па	$G$ , м <sup>3</sup> /с	$G$ , м <sup>3</sup> /час
10	0,059	212	350	0,349	1258
100	0,187	673	400	0,374	1346
150	0,229	824	500	0,418	1504
200	0,264	951	600	0,458	1647
250	0,295	1063	700	0,494	1779
300	0,324	1165	800	0,528	1902

## Заключение

В ходе работы проведено экспериментальное исследование аэродинамического сопротивления клапана приточной вентиляции ОВЕН.

Получены значения коэффициента сопротивления для двух значений перепада давления на клапане. Кроме того произведена оценка коэффициента сопротивления на основе измерения скорости воздушного потока на входе клапана приточной вентиляции. Изучена зависимость скорости воздуха от перепада давлений. По результатам испытаний составлена таблица, связывающая объемный расход воздуха через клапан с перепадом давления на клапане.

## Список использованных источников

1. Ковалев М.А. О расчете и исследовании аэродинамических труб // Уч. Зап. Ленингр. Ун-та. 1939. Вып. 7. С. 61 – 86.
2. Исследование и расчет системы вентиляции естественного побуждения «ОВЕН». Отчет НИИ математики и механики математико-механического факультета СПбГУ по договору 06/08 / Рябинин А.Н. СПб. 2008. 30 с.
3. Балобанов С.А., Рябинин А.Н. Исследование системы вентиляции естественного побуждения «ОВЕН» // Аэродинамика. Под ред. Р.Н.Мирошина. М. 2008. С. 20 -33.



Программа обработки данных, написанная на языке Паскаль.

Исходные данные, представляющие собой показания микрометров, измеряющих перепады давлений на сопле аэродинамической трубы и на насадке Креля, считываются из текстовых файлов "x2-145h80.txt", "x2-136h80.txt", "x2-124h80.txt", "x2-105h80.txt". В файлы "x2-145h80a.txt", "x2-136h80a.txt", "x2-124h80a.txt", "x2-105h80a.txt" записываются данные, представленные в отчете в таблицах 1-4. В программе в соответствии с алгоритмом, изложенным в отчете, вычисляется коэффициент сопротивления клапана (переменная "s").

```

var dh,r:array[1..50] of real;
i,n1,n2,n3,n4: integer; h,d,x,s1,s2,s3,s4,q1,q2,q3,q4,s,q:real;
    finp,finp1,finp2,finp3,fout,fout1,fout2,fout3,fout4:text;
begin
assign(finp,'x2-145h80.txt');reset(finp);
assign(finp1,'x2-136h80.txt');reset(finp1);
assign(finp2,'x2-124h80.txt');reset(finp2);
assign(finp3,'x2-105h80.txt');reset(finp3);
assign(fout1,'x2-145h80a.txt');rewrite(fout1);
assign(fout2,'x2-136h80a.txt');rewrite(fout2);
assign(fout3,'x2-124h80a.txt');rewrite(fout3);
assign(fout4,'x2-105h80a.txt');rewrite(fout4);
assign(fout,'x2.txt');rewrite(fout);
i:=0;repeat i:=i+1;readln (finp,h,d);x:=-147.5+2.5*i;dh[i]:=d/h;r[i]:=abs(x);
writeln(fout1,h:5:1,d:7:1,d/h:8:4,x:7:1,r[i]:7:1);
until eof(finp);n1:=i;
s1:=sqrt(dh[1])*r[1]*(r[2]-r[1]);for i:=2 to n1-1 do s1:=s1+sqrt(dh[i])*r[i]*(r[i+1]-r[i-1]);
s1:=s1+sqrt(dh[n1])*r[n1]*(r[n1]-r[n1-1]); q1:=127/80*1.32*145/s1*145/s1*145*145;
close(fout1);close(finp);writeln('1',i:4);readln;
i:=0;repeat i:=i+1;readln (finp1,h,d);x:=-138.5+2.5*i;dh[i]:=d/h;r[i]:=sqrt(x*x+2500);
writeln(fout2,h:5:1,d:7:1,d/h:8:4,x:7:1,r[i]:7:1);
until eof(finp1);n2:=i;
s2:=sqrt(dh[1])*r[1]*(r[2]-r[1]);for i:=2 to n2-1 do s2:=s2+sqrt(dh[i])*r[i]*(r[i+1]-r[i-1]);
s2:=s2+sqrt(dh[n2])*r[n2]*(r[n2]-r[n2-1]); q2:=127/80*1.32*145/s2*145/s2*145*145;
close(fout2);close(finp1);writeln('2',i:4);readln;
i:=0;repeat i:=i+1;readln (finp2,h,d);x:=-126.5+2.5*i;dh[i]:=d/h;r[i]:=sqrt(x*x+5625);
writeln(fout3,h:5:1,d:7:1,d/h:8:4,x:7:1,r[i]:7:1);
until eof(finp2);n3:=i;
s3:=sqrt(dh[1])*r[1]*(r[2]-r[1]);for i:=2 to n3-1 do s3:=s3+sqrt(dh[i])*r[i]*(r[i+1]-r[i-1]);
s3:=s3+sqrt(dh[n3])*r[n3]*(r[n3]-r[n3-1]); q3:=127/80*1.32*145/s3*145/s3*145*145;
close(fout3);close(finp2);writeln('3',i:4);readln;
i:=0;repeat i:=i+1;readln (finp3,h,d);x:=-107.5+2.5*i;dh[i]:=d/h;r[i]:=sqrt(x*x+10000);
writeln(fout4,h:5:1,d:7:1,d/h:8:4,x:7:1,r[i]:7:1);
until eof(finp3);n4:=i;
s4:=sqrt(dh[1])*r[1]*(r[2]-r[1]);for i:=2 to n4-1 do s4:=s4+sqrt(dh[i])*r[i]*(r[i+1]-r[i-1]);
s4:=s4+sqrt(dh[n4])*r[n4]*(r[n4]-r[n4-1]); q4:=127/80*1.32*145/s4*145/s4*145*145;
close(fout4);close(finp3);writeln('4',i:4);readln;
s:=(s1+s2+s3+s4)/4;q:=(q1+q2+q3+q4)/4;
writeln(fout,s1:12:4,s2:12:4,s3:12:4,s4:12:4,s:12:4);
writeln(fout,q1:12:4,q2:12:4,q3:12:4,q4:12:4,q:12:4);
close(fout);
end.

```