

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В ВИХРЕАКУСТИЧЕСКОМ РАСХОДОМЕРЕ

*А.П. Лапин, А.М. Дружков*

Рассматривается типовая структурная схема вихреакустического расходомера с подробным описанием сигналов на входе и выходе основных функциональных компонентов.

Приведен план эксперимента, предназначенного для изучения стабильности частоты вихреобразования за телом обтекания. Также представлены результаты исследования стабильности расхода на проливочной установке. Показано, что коэффициент вариации мгновенных значений эталонного расхода при испытании вихреакустических расходомеров изменяется от 0,13 до 0,3 % в зависимости от режима проливки. Коэффициент вариации частоты вихреобразования при различных режимах расхода составляет от 3 до 9 %. Проверка по критерию Эппса – Пали показала, что выборочные данные не противоречат нормальному закону распределения вероятностей.

Сделано предположение о нецелесообразности расчётов результирующего объемного расхода на основании мгновенного значения частоты вихреобразования. Показано, что при расчете расхода целесообразно использовать оценку частоты вихреобразования, полученную на основе обработки избыточных измерений.

*Ключевые слова: вихревые расходомеры, вихреакустические расходомеры, частота вихреобразования.*

## **Введение**

Широкое распространение в системах управления технологическими процессами, где требуется измерение расхода (накопленного объема) жидкости, получили вихреакустические расходомеры. Однако точность измерения таких расходомеров на диапазоне малых расходов ниже, чем на диапазоне средних и больших расходов.

Повышение точности измерения вихреакустических расходомеров на малых расходах может быть достигнуто путем правильного выбора и обоснования модели функции преобразования [1, 2]. Для двухфакторной модели функции преобразования вихреакустических расходомеров входными факторами являются частота вихреобразования и температура измеряемой среды [1]. Если с точностью измерения последней не возникает особых проблем, то задача измерения частоты вихреобразования требует внимательного изучения.

В данной статье приводятся результаты исследований, проведенных с целью оценки стабильности процесса вихреобразования в вихреакустических расходомерах.

## **1. Типовая схема вихревого расходомера**

На рис. 1 изображена функциональная схема вихреакустического расходомера. На рис. 2 приведены временные диаграммы сигналов в определенных точках функциональной схемы.

Для измерения расхода жидкости или газа в проточной части вихревого расходомера установлено тело обтекания, за которым образуются вихри. Структура устойчивого вихреобразования за телом обтекания называется дорожкой Кармана [3, 4].

Возбуждение передающего пьезоэлемента, установленного в проточной части расходомера, происходит с помощью высокочастотного сигнала, подаваемого с опорного генератора (рис. 2, а). Сигнал преобразуется в механические колебания, излучается в измеряемую среду и модулируется по фазе с частотой вихрей, образованных за телом обтекания. Приёмный пьезоэлемент преобразует механические колебательные воздействия в электрический высокочастотный модулированный сигнал (рис. 2, б), который усиливается и вместе с сигналом с опорного генератора подается на вход фазового детектора. На выходе фазового детектора выделяется синусоидальный сигнал, частота которого равна частоте образования вихрей за телом обтекания (рис. 2, в). Этот сигнал подвергается обработке в компараторе (рис. 2, г) и подается на вход микроконтроллера, где про-

изводится измерение длительности периода сигнала. В результате применения описанного алгоритма обработки сигнала получается выборка мгновенных значений частоты вихреобразования. Эта частота используется для расчета расхода измеряемой жидкости или газа в соответствии с двухфакторной моделью функции преобразования расходомера [1].

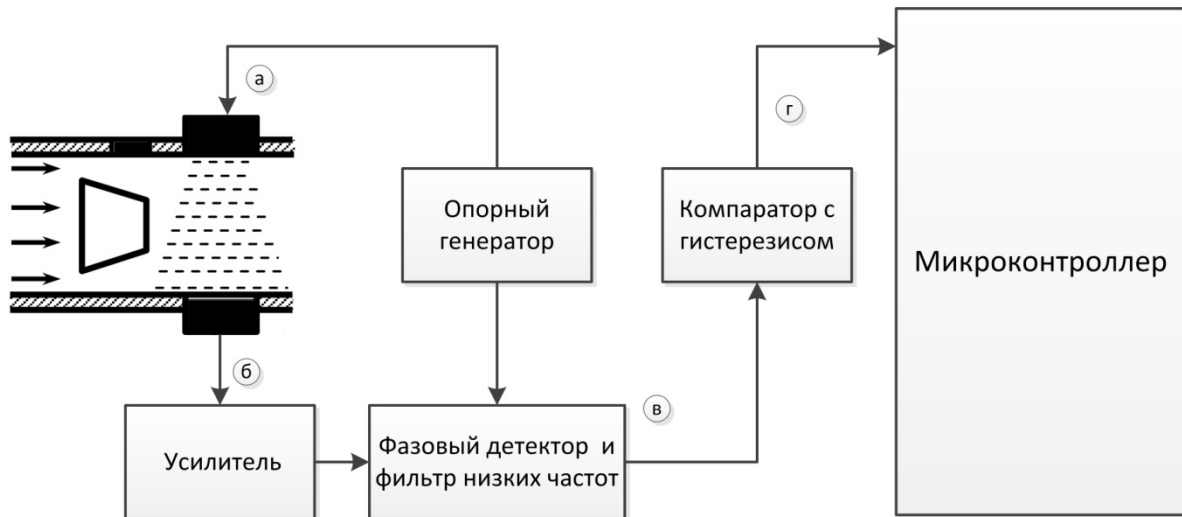


Рис. 1. Функциональная схема вихреакустического расходомера

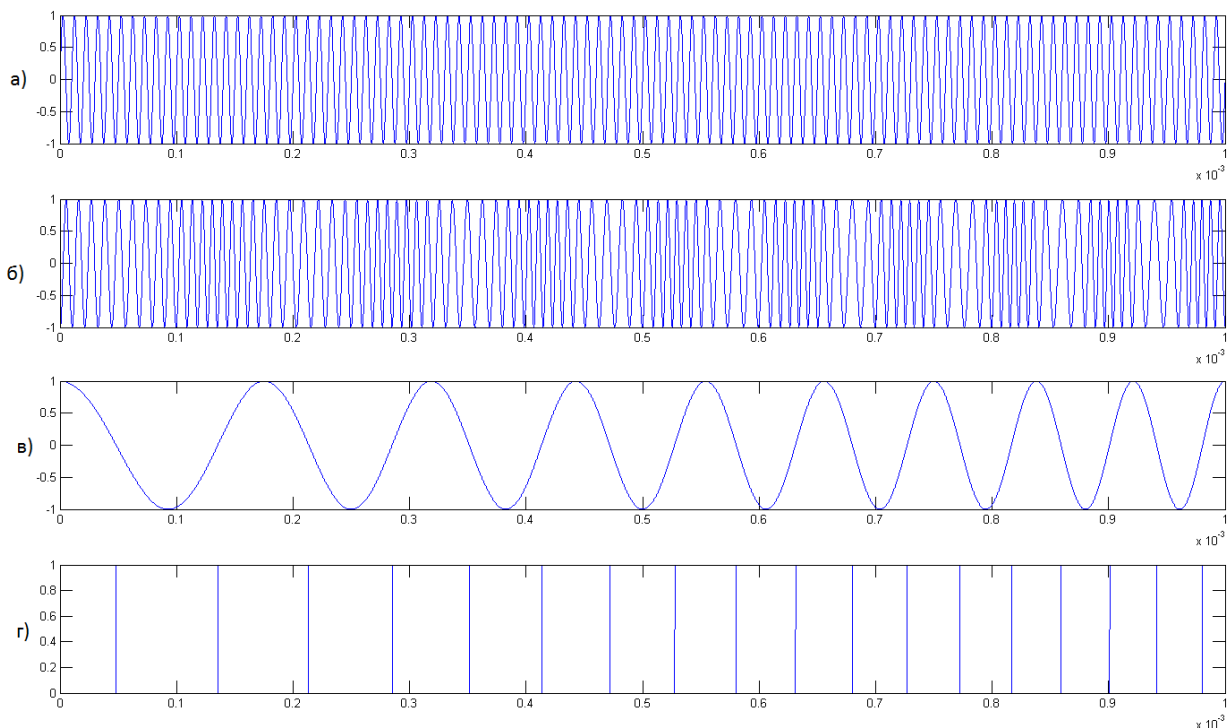


Рис. 2. Временная диаграмма работы вихреакустического расходомера: а – высокочастотный возбуждающий сигнал с опорного генератора; б – модулированный по фазе высокочастотный сигнал на приемном пьезоэлементе; в – выделенное модулирующее воздействие вихрей, образующихся за телом обтекания, на выходе фазового детектора (частота этого сигнала пропорциональна частоте вихрей); г – сигнал, поступающий на вход микроконтроллера

## 2. Описание эксперимента по изучению стабильности частоты вихреобразования

Нестабильность частоты вихреобразования является фундаментальной проблемой [5] при исследовании вихревых расходомеров. В работах [6, 7] данный вопрос рассматривается с точки зрения оптимизации геометрии тела обтекания. В данной статье стабильность вихреобразования

**Исследование стабильности частоты вихреобразования  
в вихреакустическом расходомере**

изучается с целью создания алгоритма оценки частоты вихреобразования на основе избыточных измерений. Для исследования стабильности вихреобразования в вихреакустическом расходомере были проведены лабораторные испытания на расходомерном стенде. Для испытаний были использованы цифровой осциллограф Agilent DSO6012a [8] и установка для поверки счётчиков жидкости УПСЖ-15/50 (далее – проливочная установка), включающая в себя измерительную линию, запорную арматуру и эталонные расходомеры. В качестве объектов испытаний были использованы два вихреакустических расходомера с диаметром условного прохода 25 и 32 мм (Ду25 и Ду32).

Эксперимент предназначался для решения двух задач:

- а) исследование стабильности расхода в проливочной установке;
- б) исследование стабильности частоты вихреобразования за телом обтекания.

а) Исследуемые расходомеры были последовательно испытаны при режимах расхода в соответствии с табл. 1. В ходе эксперимента фиксировались показания мгновенных расходов эталонных расходомеров проливочной установки. Данные, полученные в ходе эксперимента, приведены в табл. 2 и 3.

**Таблица 1**

**Режимы проведения испытаний расходомеров**

Ду	Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
<b>25</b>	9,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,40	0,20	0,18	0,15
<b>32</b>	15,0	10,0	7,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,6	0,40	0,25	0,20

**Таблица 2**

**Показания эталонных расходомеров на проливочной установке при испытании расходомера Ду32**

Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
15,0	10,0	7,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,6	0,40	0,25	0,20
Мгновенные значения расхода измеряемой жидкости, м <sup>3</sup> /ч										
14,73	9,82	6,96	4,91	2,979	1,487	0,998	0,597	0,401	0,2472	0,1990
14,72	9,80	6,94	4,91	2,980	1,494	1,002	0,599	0,400	0,2481	0,1986
14,70	9,81	6,94	4,91	2,977	1,491	1,001	0,597	0,401	0,2478	0,1994
14,72	9,83	6,95	4,93	2,976	1,487	0,999	0,597	0,400	0,2477	0,1992
14,70	9,80	6,95	4,92	2,980	1,492	1,002	0,598	0,400	0,2479	0,1988
14,68	9,82	6,94	4,94	2,982	1,493	0,997	0,595	0,401	0,2477	0,1984
14,73	9,80	6,93	4,92	2,981	1,492	1,002	0,598	0,401	0,2479	0,1985
14,77	9,82	6,94	4,92	2,978	1,488	1,003	0,597	0,403	0,2478	0,1986
14,76	9,84	6,93	4,91	2,970	1,498	1,001	0,597	0,401	0,2467	0,1987
14,77	9,85	6,92	4,92	2,979	1,495	0,997	0,595	0,402	0,2485	0,1986
14,73	9,81	6,91	4,92	2,982	1,496	0,993	0,597	0,402	0,2475	0,1987
14,71	9,82	6,92	4,91	2,993	1,493	0,996	0,599	0,401	0,2466	0,1989
14,76	9,85	6,92	4,92	2,989	1,497	0,997	0,596	0,400	0,2474	0,1984
14,79	9,82	6,90	4,93	2,985	1,495	1,001	0,596	0,399	0,2468	0,1988
14,80	9,84	6,92	4,94	2,979	1,491	0,995	0,595	0,399	0,2480	0,1989
14,76	9,82	6,93	4,93	2,984	1,497	0,996	0,597	0,401	0,2472	0,1985
Средний расход, м <sup>3</sup> /ч										
14,739	9,821	6,931	4,921	2,980	1,492	0,9988	0,5969	0,4008	0,2476	0,1988
СКО										
3,45 E-02	1,64 E-02	1,59 E-02	1,04 E-02	5,29 E-03	3,48 E-03	3,02 E-03	1,26 E-03	1,06 E-03	5,34 E-04	2,80 E-04
Коэффициент вариации, V, %										
0,23	0,17	0,23	0,21	0,18	0,23	0,30	0,21	0,27	0,22	0,14

Таблица 3

Показания эталонных расходомеров на проливочной установке при испытании расходомера Ду25

Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
9,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,40	0,20	0,18	0,15
Мгновенные значения расхода измеряемой жидкости, м <sup>3</sup> /ч										
8,88	4,98	3,02	1,498	1,001	0,801	0,597	0,401	0,2095	0,1785	0,1495
8,87	4,98	3,009	1,501	0,997	0,796	0,597	0,401	0,2083	0,1788	0,1492
8,86	4,97	3,019	1,496	0,999	0,799	0,598	0,401	0,2087	0,1794	0,1494
8,84	4,97	3,015	1,494	1,000	0,799	0,598	0,400	0,2081	0,1794	0,1495
8,85	4,98	3,017	1,497	0,999	0,801	0,599	0,401	0,2092	0,1787	0,1490
8,85	4,97	3,018	1,499	1,000	0,800	0,600	0,400	0,2080	0,1782	0,1490
8,84	4,97	3,016	1,497	0,999	0,800	0,600	0,399	0,2097	0,1792	0,1492
8,85	4,99	3,015	1,494	1,000	0,798	0,597	0,401	0,2096	0,1798	0,1482
8,86	4,98	3,012	1,496	0,999	0,799	0,599	0,400	0,2089	0,1801	0,1490
8,85	4,97	3,016	1,501	1,001	0,801	0,597	0,400	0,2093	0,1791	0,1491
8,85	4,98	3,004	1,501	1,000	0,800	0,598	0,400	0,2096	0,1796	0,1494
8,85	4,99	3,015	1,497	0,997	0,801	0,598	0,400	0,2097	0,1786	0,1499
8,84	4,96	3,009	1,495	0,998	0,800	0,600	0,400	0,2088	0,1785	0,1489
8,86	4,97	3,005	1,494	0,999	0,800	0,600	0,401	0,2094	0,1790	0,1491
8,83	4,97	3,009	1,495	1,000	0,802	0,597	0,402	0,2086	0,1792	0,1483
8,85	4,98	3,013	1,489	0,999	0,801	0,598	0,398	0,2087	0,1786	0,1490
8,85	4,99	3,022	1,497	1,001	0,801	0,600	0,399	0,2086	0,1780	0,1490
8,86	4,97	3,016	1,492	1,000	0,802	0,599	0,401	0,2079	0,1787	0,1487
Средний расход, м <sup>3</sup> /ч										
8,852	4,976	3,013	1,4963	0,9994	0,8001	0,5984	0,4000	0,20892	0,17897	0,14908
СКО										
1,17	8,50	5,00	3,16	1,20	1,47	1,20	9,58	6,03	5,57	4,10
E-02	E-03	E-03	E-03	E-03	E-03	E-03	E-04	E-04	E-04	E-04
Коэффициент вариации V, %										
0,13	0,17	0,17	0,21	0,12	0,18	0,20	0,24	0,29	0,31	0,27

По результатам измерений были рассчитаны: среднеквадратическое отклонение (СКО), средний расход в ходе эксперимента и коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \%,$$

где  $V$  – коэффициент вариации,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $\bar{x}$  – средний расход.

В результате исследования стабильности установления расхода на проливочной установке установлено, что коэффициент вариации мгновенных значений эталонного расхода при испытании вихреакустического расходомера Ду25 изменяется от 0,13 до 0,31 %, а при испытании Ду32 – от 0,17 до 0,30 %.

Полученные данные о мгновенных расходах были подвергнуты проверке на отклонение распределения вероятностей от нормального закона распределения. Для реализации проверки согласно критерию Эппса – Палли разработана программа, реализующая алгоритм расчета критической статистики критерия, описанный в ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Критические статистики, рассчитанные в соответствии с критерием Эппса – Палли, приведены в табл. 4.

Согласно использованному критерию, выборка не противоречит нормальному распределению, если рассчитанное значение критической статистики не превышает  $p$ -квантиль при задан-

ном уровне значимости и объеме выборки. Для исследуемых выборок  $p$ -квантиль равен 0,367 и 0,366 для Ду25 и Ду32 соответственно.

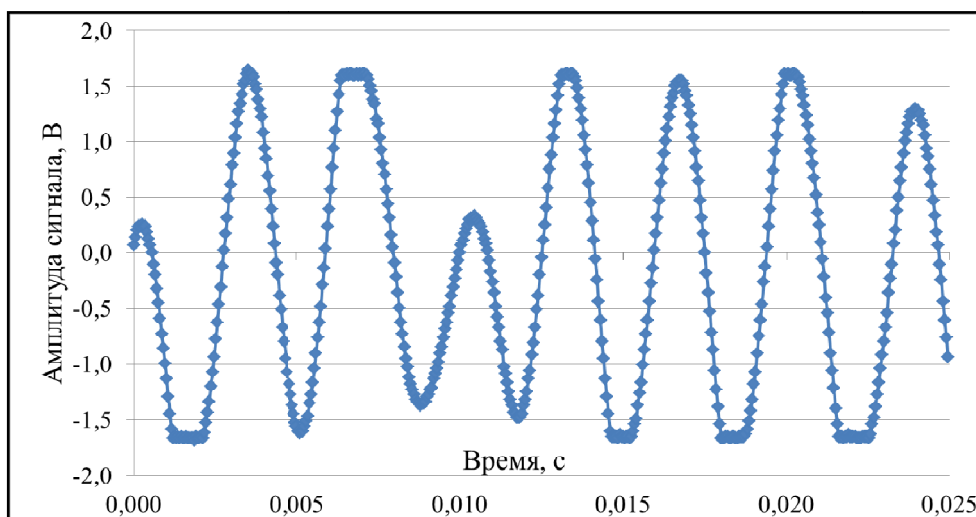
В результате проверки было установлено, что полученные выборки значений мгновенных расходов не противоречат нормальному закону распределения вероятностей при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

**Таблица 4**

**Рассчитанные значения критической статистики Эппса–Палли**

Значения критической статистики Эппса–Палли для выборок мгновенных расходов Ду25										
0,095	0,099	0,168	0,026	0,132	0,264	0,236	0,096	0,153	0,051	0,140
Значения критической статистики Эппса–Палли для выборок мгновенных расходов Ду32										
0,071	0,103	0,012	0,150	0,195	0,094	0,155	0,021	0,015	0,137	0,199

б) При испытаниях, проводимых с целью исследования стабильности частоты вихреобразования за телом обтекания, на каждом из режимов расхода (см. табл. 1) для каждого испытуемого расходомера с помощью цифрового осциллографа фиксировался сигнал (примерный вид сигнала приведен на рис. 3) на выходе фазового детектора и фильтра низких частот (точка «в» на рис. 1, далее – контрольная точка). Съем данных осциллографом производился после выхода проливочной установки на заданный установившийся режим проливки. В результате получены массивы отсчетов сигнала в контрольной точке. Далее, для того чтобы получить значения мгновенных частот (периодов), проводилась обработка полученных данных по определенному алгоритму. Для этого было разработано специальное программное обеспечение в среде Matlab.



**Рис. 3. Примерный вид сигнала в контрольной точке**

**Таблица 5**

**Пример данных, полученных при испытании расходомера Ду32**

№	Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
	15,0	10,0	7,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,6	0,40	0,25	0,20
Мгновенные частоты вихреобразования при различных режимах расхода $f$ , Гц											
1	253,16	172,41	126,58	92,59	54,05	27,03	20,00	11,63	8,62	5,21	4,59
2	303,03	192,31	136,99	92,59	55,56	30,30	18,87	11,76	7,81	5,88	4,67
3	250,00	178,57	125,00	92,59	58,82	28,17	19,23	11,63	8,20	5,26	4,55
4	259,74	185,19	135,14	92,59	57,14	28,17	19,23	11,90	8,20	5,32	4,76
5	307,69	204,08	136,99	96,15	52,63	27,78	18,87	11,49	8,20	5,32	4,63
6	277,78	192,31	123,46	86,21	60,61	28,99	20,41	12,50	8,20	5,32	4,72
...	...										
$n$	281,69	212,77	136,99	89,29	62,50	27,78	19,23	11,24	7,94	5,32	4,72

Окончание табл. 5

№	Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
	15,0	10,0	7,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,6	0,40	0,25	0,20
Мгновенные частоты вихреобразования при различных режимах расхода $f$ , Гц											
$f_{\max}$	327,87	212,77	142,86	102,04	62,50	30,30	20,41	13,33	9,09	6,17	5,21
$f_{\min}$	229,89	161,29	113,64	83,33	50,00	25,97	17,54	10,87	6,94	4,81	4,00
Среднее	273,87	186,78	132,03	92,20	56,19	28,48	19,26	11,87	8,23	5,37	4,53
СКО	20,77	11,27	10,89	4,92	2,64	0,97	0,75	0,51	0,48	0,31	0,23
$V$ , %	7,58	6,03	5,07	4,79	4,69	3,42	3,64	4,32	5,84	5,82	5,11
Общее количество мгновенных частот в исследуемой выборке, шт.											
$n$	52	71	48	72	109	54	74	44	63	60	58

В результате обработки массивов данных были найдены значения периодов синусоидального сигнала для каждого режима расхода (табл. 5, 6). Период сигнала ( $T$ ) связан с частотой вихреобразования ( $f$ ) за телом обтекания –  $T = 1/f$ .

Таблица 6

Пример данных, полученных при испытании расходомера Ду25

№	Режимы расхода, м <sup>3</sup> /ч										
	9,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,40	0,20	0,18	0,15
Мгновенные частоты вихреобразования при различных режимах расхода $f$ , Гц											
1	357,14	192,31	131,58	64,10	40,00	35,09	25,64	19,23	9,62	9,71	7,87
2	307,69	206,19	120,48	64,10	41,67	33,33	25,97	19,23	9,52	8,93	8,06
3	425,53	210,53	128,21	64,94	42,02	33,33	26,32	18,87	9,09	10,20	7,35
4	416,67	210,53	125,00	58,82	45,87	32,79	25,64	17,86	9,01	9,43	7,52
5	350,88	217,39	133,33	63,29	44,25	34,48	25,00	17,54	9,01	10,00	6,67
6	350,88	202,02	131,58	64,94	40,65	32,26	26,67	17,86	8,47	8,85	8,00
...	...										
$n$	377,36	200,00	116,28	59,52	41,67	36,36	24,39	17,54	10,42	9,17	7,81
$f_{\max}$	444,44	253,16	149,25	70,42	45,87	37,04	29,85	19,23	10,42	10,75	8,93
$f_{\min}$	294,12	181,82	112,36	57,47	38,76	30,77	23,26	15,63	8,40	7,87	6,62
Среднее	367,25	209,64	128,23	62,75	41,92	33,57	26,03	17,44	9,31	8,90	7,42
СКО	31,17	14,71	8,55	2,75	1,62	1,33	1,29	0,81	0,52	0,69	0,52
$V$ , %	8,49	7,02	6,67	4,38	3,87	3,97	4,97	4,66	5,57	7,80	7,01
Общее количество мгновенных частот в исследуемой выборке, шт.											
$n$	70	40	48	48	32	64	48	66	35	40	54

С целью установления закона распределения полученные данные были подвергнуты проверке на отклонение распределения вероятностей от нормального распределения (ГОСТ Р ИСО 5479–2002). Для проверки был использован критерий Эппса – Палли. Установлено, что полученные данные не противоречат нормальному закону распределения при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

С целью обнаружения промахов в полученных выборках использовался критерий, описанный в МИ 2091-90. Предпосылкой применения данного критерия является не противоречие исследуемых выборок нормальному закону распределения. Было установлено, что при испытаниях на некоторых режимах проливки в полученных результатах измерений присутствуют промахи (табл. 7).

Для полученных выборок с исключенными промахами были найдены значения максимального и минимального элементов, среднее значение, СКО и коэффициент вариации.

На рис. 4 представлены зависимости коэффициента вариации частоты вихреобразования при различных расходах.

Количество промахов при испытании расходомеров

Режимы расхода при испытании Ду25, м <sup>3</sup> /ч										
9,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,40	0,20	0,18	0,15
Количество промахов в полученных выборках при испытании Ду25										
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Общее количество мгновенных частот в исследуемой выборке при испытании Ду25										
70	40	48	48	32	64	48	66	35	40	54
Режимы расхода при испытании Ду32, м <sup>3</sup> /ч										
15,0	10,0	7,0	5,0	3,0	1,5	1,0	0,6	0,40	0,25	0,20
Количество промахов в полученных выборках при испытании Ду32										
0	0	3	1	0	0	1	0	1	0	0
Общее количество мгновенных частот в исследуемой выборке при испытании Ду32										
52	71	48	72	109	54	74	44	63	60	58

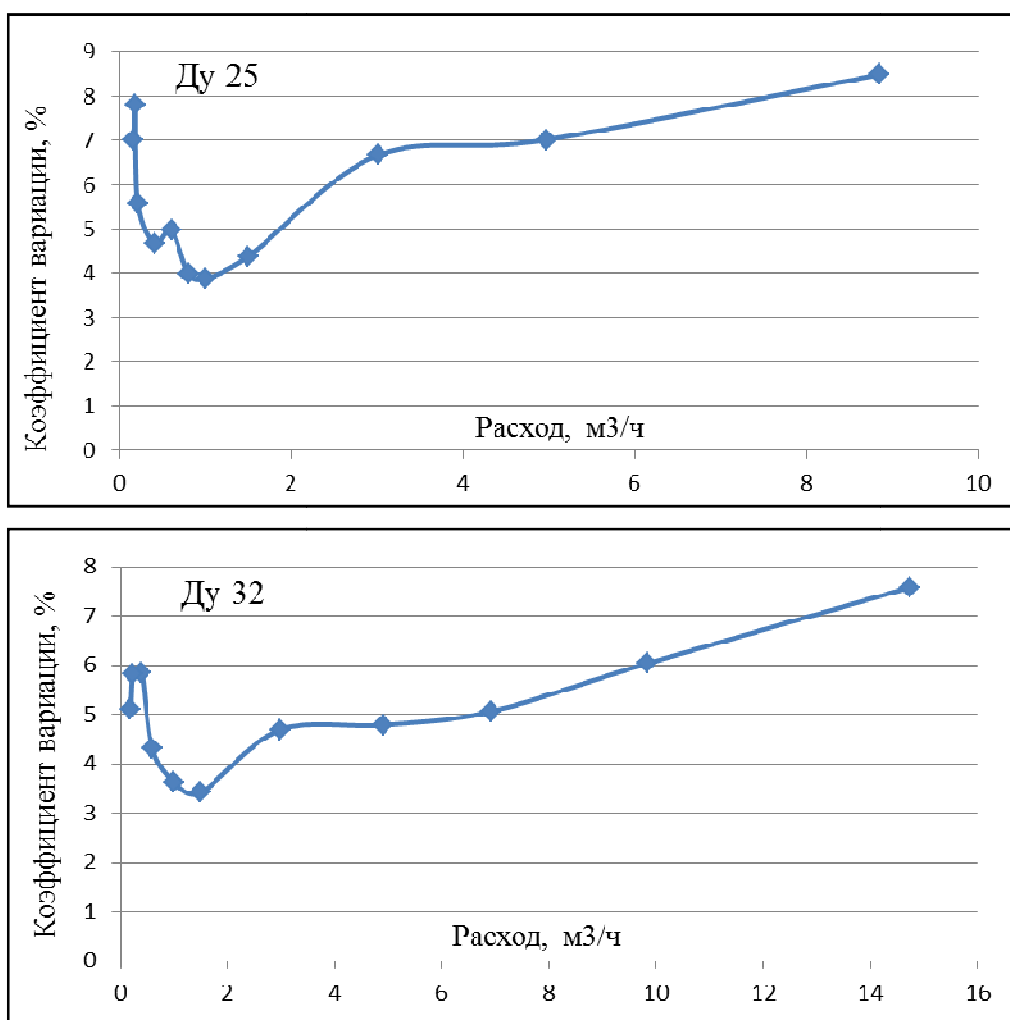


Рис. 4. Зависимость коэффициента вариации от величины расхода

В результате проведенных экспериментов показано, что расчет объемного расхода по каждому измеренному значению частоты вихреобразования следует признать нецелесообразным, так как коэффициент вариации может достигать от 3 до 9 %. Расчет расхода следует производить на основе оценки частоты вихреобразования по результатам избыточных измерений. При этом алго-

ритм поиска данной оценки должен быть работоспособным на всем диапазоне измерения вихревого расходомера.

При измерении расхода на режиме  $9 \text{ м}^3/\text{ч}$  вихреакустическим расходомером Ду25 среднее время поступления информации о частоте вихреобразования составляет 2,7 мс. При измерении расхода на режиме  $0,15 \text{ м}^3/\text{ч}$  время поступления информации о частоте вихреобразования составляет уже 133 мс.

При увеличении номинального диаметра вихревого расходомера диапазон частот вихреобразования, соответствующий измеряемому расходу, смещается в сторону уменьшения. Например, для расходомера Ду100 диапазон измеряемых расходов составляет от 200 до  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что соответствует времени поступления информации о частоте вихреобразования от 8 мс до 1,6 с. Очевидно, что при разработке алгоритма оценки частоты вихреобразования необходимо учесть тот факт, что информация о частоте вихреобразования во всем диапазоне измерения поступает крайне неравномерно.

В случае измерения в области больших расходов алгоритм может представлять собой усреднение достаточно большого количества данных, что позволит получить точную оценку частоты вихреобразования и не окажет существенного влияния на чувствительность расходомера к изменению расхода. В то же время применение усреднения к отсчетам, полученным при измерении малых расходов, приведет к значительному снижению скорости отклика на изменение расхода. Это является отличительной особенностью вихревых расходомеров и усложняет задачу разработки алгоритма нахождения оценки частоты вихреобразования.

### Заключение

В результате проведенных исследований были изучены вопросы, связанные со стабильностью вихреобразования за телом обтекания. Установлено, что стабильность задания расхода с помощью установки для поверки счетчиков жидкости УПСЖ-15/50 весьма высока. Коэффициент вариации мгновенных расходов эталонных расходомеров находится в пределах от 0,13 до 0,30 %.

При исследовании стабильности вихреобразования за телом обтекания вихреакустических расходомеров с Ду25 и Ду32 показано, что закон распределения данных о мгновенных частотах вихреобразования не противоречит нормальному распределению. Количество обнаруженных выбросов минимально. Коэффициент вариации мгновенных частот вихреобразования находится в пределах от 3 до 9 %.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о неоправданности расчётов результирующего объемного расхода на основании мгновенного значения частоты вихреобразования, что приводит к необходимости разработки алгоритма оценки частоты вихреобразования на основе обработки избыточных измерений.

### Литература

1. Лапин, А.П. Выбор и исследование двухфакторной модели функции преобразования вихреакустических расходомеров / А.П. Лапин, Дружков А.М. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 13, № 3. – С. 4–12.
2. Лапин, А.П. Анализ зависимости числа Струхала в уравнении измерения вихреакустического расходомера / А.П. Лапин, А.М. Дружков, К.В. Кузнецова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 13, № 4. – С. 70–77.
3. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества: справ. / П.П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
4. Baker, R.C. Flow measurement: handbook / R.C. Baker. – New York: Cambridge University Press, 2000. – 524 p.
5. Pankanin, G.L. The vortex flowmeter: various methods of investigating phenomena / G.L. Pankanin // Measurement science and technology. – 2005. – № 16. – P. R1–R16.
6. Kalkhof, H.G. Influence of the bluff body shape on the measurement characteristics of vortex flowmeters / H.G. Kalkhof // Proc. of Conf. on Metering of Petroleum and its Products, 1985. – P. 7–8.
7. Pankanin, G.L. Influence of vortex meter configuration of measure signal parameters / G.L. Pankanin // Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC/93. Conference Record., IEEE, 1993. – P. 337–340.



8. Agilent InfiniiVision 5000/6000/7000 Series Oscilloscopes. User's Guide. – <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/54695-97026.pdf>.

9. Борисов, А. Новые 16-разрядные семейства микроконтроллеров Microchip / А. Борисов // Компоненты и технологии. – 2006. – № 6. – С. 38–41.

**Лапин Андрей Павлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); a\_lapin@mail.ru.

**Дружков Александр Михайлович**, аспирант кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); sandruzh@gmail.com.

*Поступила в редакцию 10 сентября 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics"**  
**2014, vol. 14, no. 4, pp. 89–98**

---

## **STUDY OF STABILITY SHEDDING FREQUENCY IN VORTEX SONIC FLOWMETERS**

**A.P. Lapin**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
a\_lapin@mail.ru,

**A.M. Druzhkov**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
sandruzh@gmail.com

The typical block diagram with detailed description signals at the input and output of major functional components is discussed.

Plan of experiment for research of stability of vortex shedding frequency beyond bluff body are showed. Results of flow stability research in test lab are given. It is shown, that the variation coefficient of the instantaneous values of the reference flow rate varies from 0.13 % to 0.3 % during the vortex sonic flowmeters test depending on the flow regimes. The vortex frequency variation coefficient is 3 % to 9 % at various flow regimes. Check for Epps-Pally criterion has showed that the sample data is not in conflict with a normal distribution law of probabilities.

An assumption was made about inexpediency of calculations of the result volume flow on the basis of the vortex shedding instantaneous frequency. It is shown that the estimate of the vortex shedding frequency derived from the processing of the measurements sequence should be used in flow calculation.

*Keywords: vortex flowmeters, vortex sonic flowmeters, vortex shedding frequency.*

### **References**

1. Lapin A.P., Druzhkov A.M. [Selection and Research of Two-Factor Model for Conversion Function of Vortex Sonic Flowmeters]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2013, vol. 13, no. 2, pp. 4–12. (in. Russ.)

2. Lapin A.P., Druzhkov A.M., Kuznetsova K.V. [Analysis of the Dependence of the Strouhal Number in the Measurement Equation for Vortex Sonic Flowmeters]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2013, vol. 13, no 4, pp. 70–77. (in. Russ.)

3. Kremlevskiy P.P. *Raskhodometry i schetchiki kolichestva: Spravochnik* [Flowmeters and Counters: Handbook]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1989, 701 p.

4. Baker R.C. *Flow Measurement: Handbook*. New York: Cambridge University Press, 2000, 524 p.

5. Pankanin G.L. The Vortex Flowmeter: Various Methods of Investigating Phenomena. *Measurement science and technology*, 2005, № 16, pp. 1–16.
6. Kalkhof H.G. Influence of the Bluff Body Shape on the Measurement Characteristics of Vortex Flowmeters. *Proc. of Conf. on Metering of Petroleum and its Products*, 1985, pp. 7–8.
7. Pankanin G.L. Influence of Vortex Meter Configuration of Measure Signal Parameters. *Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC/93. Conference Record., IEEE*, 1993, pp. 337–340.
8. Agilent InfiniVision 5000/6000/7000 Series Oscilloscopes. User's Guide. Available at: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/54695-97026.pdf>.
9. Borisov A. [New 16-bit microcontroller family from Microchip]. *Components and Technologies*, 2006, no 6, pp. 38–41. (in Russ.)

*Received 10 September 2014*