

процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.

13. Лабунцов А.Д. Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 388 с.

14. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные схемы газовой динамики. – М.: Наука, 1975. – 424 с.

15. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Об одном переходе к математическому моделированию тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники. // Микροэлектроника. – 2008. – Т. 37. – № 2. С. 150–158.

16. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Сопряженный теплоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения. // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 79. – № 1. С. 56–63.

17. Гвоздяков Д.В., Губин В.Е., Кузнецов Г.В. Численная оценка формирования условий атмосферного образования серной кислоты в районе расположения тепловой электрической станции. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2012. – № 2-2. С. 195–200.

18. А.А. Федосов. Математическая модель загрязнения атмосферы выбросами тепловых электрических станций. // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 9 (41). – С. 98–102.

*УДК 62-225.864.2*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСШИРЯЮЩЕГОСЯ СОПЛА**

Зайцев А.С., Шевелев С.А.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: alexzaitsev@tpu.ru

Процесс истечения воздуха из расширяющегося сопла является показательным с точки зрения изучения процессов истечения в целом, т. к. является наиболее общим.

В настоящей работе произведено экспериментальное исследование процесса истечения газа из плоского «сопла Лавалья» [1] в нерасчетных режимах. Наибольшее значение данный вопрос имеет при изучении регулирующих ступеней турбины, так как именно в них наиболее вероятно постоянное отклонение режима истечения от расчетных значений [2].

На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда.

Экспериментальный стенд состоит из двух функциональных групп. Первая группа представляет собой компрессорную станцию. Основой компрессорной станции служат два поршневых компрессора 2 с электроприводом 1. Каждый компрессор имеет собственный ресивер 3 объемом 80 литров. Далее сжатый воздух поступает в общий ресивер 4 объемом 800л, и далее по общему распределительному коллектору 5 диаметром 108 мм поступает в лабораторию. Из коллектора 5 сжатый воз-

дух по трубопроводу  $d_y = 50\text{мм}$  через регулятор давления, который позволяет поддерживать постоянное давление, направляется в рабочий участок.

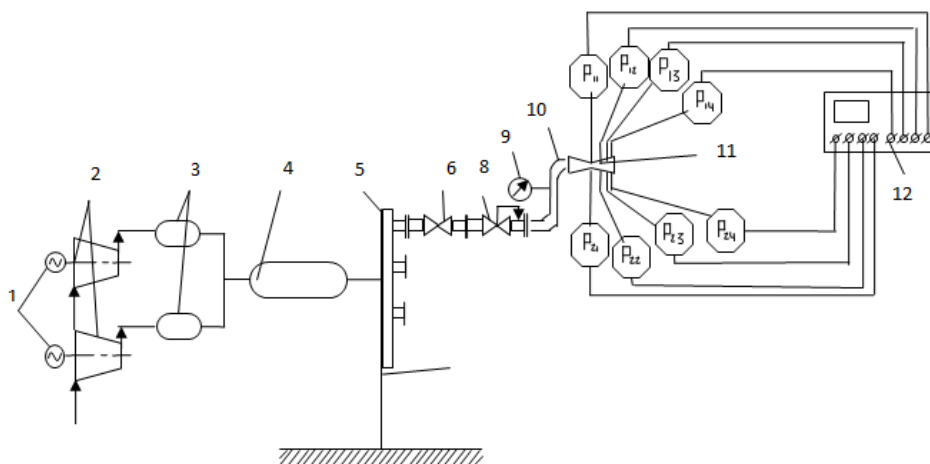


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Рабочий участок, спроектированный и изготовленный в ходе данной работы, представлен на рисунке 2. присоединяется к подающему трубопроводу фланцем 1. К фланцу винтами прикрепляется сопловая коробка 2. В сопловой коробке укладываются профилированные сопловые сегменты 3, закрепленные в съемной крышке. По длине сопла выполнены отверстия 4 для измерений давлений по профилю сопла, которые медными капиллярными трубками соединены с датчиками давления типа ОТ-1 (0–6 бар).

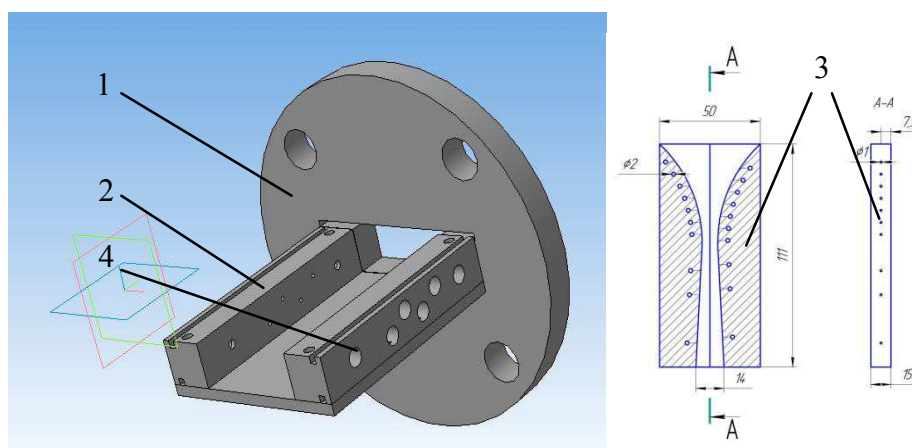


Рис. 2. Рабочий участок

Задачей проведения экспериментальных исследований является определение распределения давления по профилю. В частности, получение отношения давлений, при котором прямой скачок уплотнения входит внутрь сопла [2].

В ходе эксперимента были проведены замеры давления в сопле в девятнадцати точках. Результаты измерений представлены в таблице 1. Построен график изменения относительных давлений по длине сопла (см. рис. 3).

Таблица 1. – Результаты экспериментальных данных

№ датчика	Давление, бар							
	1	3,74	3,55	3,44	3,33	3,22	3,10	3,01
2	3,72	3,55	3,43	3,32	3,21	3,09	3,00	2,90
3	3,65	3,48	3,39	3,26	3,16	3,03	2,95	2,82
4	3,52	3,35	3,25	3,14	3,03	2,91	2,83	2,72
5	3,18	3,04	2,94	2,84	2,74	2,64	2,55	2,46
6	2,05	1,93	1,87	1,79	1,71	1,65	1,58	1,53
7	1,90	1,78	1,72	1,65	1,57	1,51	1,45	1,39
8	1,48	1,39	1,34	1,30	1,23	1,16	1,12	1,07
9	1,02	0,94	0,89	0,83	0,78	0,74	0,71	0,67
10	0,74	0,65	0,62	0,57	0,51	0,47	0,43	0,39
11	0,36	0,30	0,26	0,22	0,17	0,14	0,12	0,07
12	0,40	0,33	0,30	0,26	0,20	0,16	0,13	0,09
13	0,29	0,23	0,19	0,15	0,10	0,06	0,03	0,01
14	0,52	0,54	0,39	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17
15	0,42	0,34	0,31	0,28	0,22	0,19	0,17	0,15
16	0,55	0,47	0,42	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20
17	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14	0,11	0,10
18	0,37	0,31	0,27	0,23	0,19	0,14	0,12	0,17
19	0,23	0,18	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03

На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости в относительных величинах представленные на рисунках 3, 4.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что они в целом соответствуют теоретическим положениям. Однако необходимо отметить, что существующая экспериментальная установка не в полной мере позволяет исследовать газодинамику процесса и особенно влияние пограничного слоя.

В результате проведенного эксперимента получено распределение давлений в сопле Лавалья.

Полученный результат качественно повторяет результат, приведенный в [2].

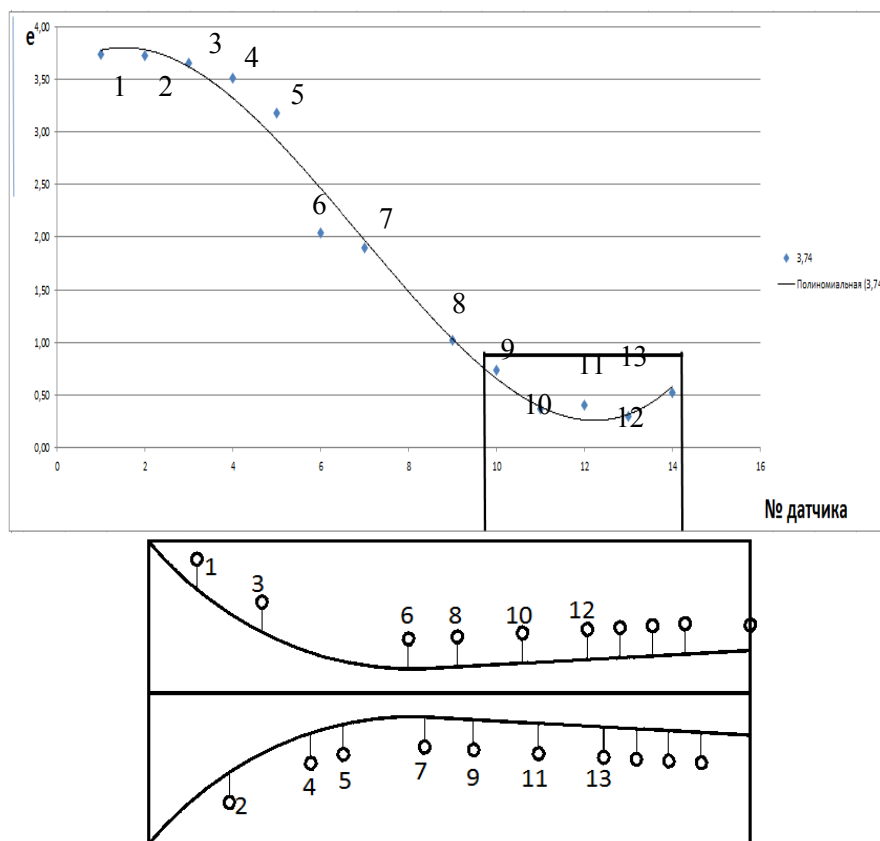


Рис. 3. График зависимости относительного давления по длине сопла

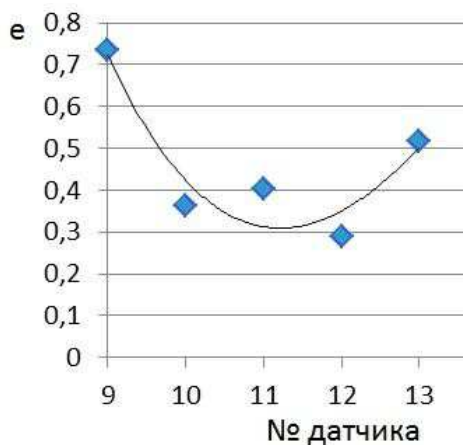


Рис. 4. Вход скачка уплотнения в горло сопла

Обобщая полученные результаты можно говорить о высокой степени сходимости полученных результатов с результатами других авторов.

Список литературы:

1. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М: Госэнергоиздат, 1961. – 671 с.
2. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкция турбин. – М: Энергия, 1967. – 367 с.