

Зверев Артем Алексеевич,
Инженер кафедры «Турбины и Двигатели»,
Уральский Федеральный Университет,
г. Екатеринбург

Демидов Антон Львович, Магистрант,
Уральский Федеральный Университет
г. Екатеринбург

Аронсон Константин Эрленович,
Доктор технических наук, профессор,
Уральский Федеральный Университет,
г. Екатеринбург

Желонкин Николай Владимирович,
Кандидат технических наук, доцент,
Уральский Федеральный Университет,
г. Екатеринбург

Рябчиков Александр Юрьевич,
Доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Уральский Федеральный Университет,
г. Екатеринбург

**РАСХОДОМЕРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПРИСОСОВ ВОЗДУХА В ВАКУУМНУЮ СИСТЕМУ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ
FLOW METERING DEVICE FOR MEASURING AIR SUCTIONS
INTO THE VACUUM SYSTEM OF A STEAM TURBINE**

Аннотация: подробно описана разработка расходомерного устройства на базе Уральского Федерального университета, описана конструкция и функционал данного приспособления, представлены необходимые расчеты, проведены испытания, которые показали правильность принятых конструкционных решений.

Abstract: the development of a flow metering device on the basis of the Ural Federal University is described in detail, the design and functionality of this device is described, the necessary calculations are presented, and tests have been carried out that have shown the correctness of the design decisions made.

Ключевые слова: расходомер, эжектор, паровая турбина, конденсатор

Keywords: flow meter, ejector, steam turbine, condenser

Как известно, при работе турбины в паровое пространство конденсатора турбоагрегата проникают неконденсирующиеся газы (атмосферный воздух). Присутствие в паре воздуха ухудшает условия функционирования конденсатора и приводит к повышению давления, а, следовательно, и к понижению экономичности работы турбоагрегата. Превышение допустимого значения количества неконденсирующихся газов приводит к образованию застойных зон; теплообмен в этих зонах резко ухудшается.

Чтобы удалить воздух из вакуумной системы турбины (конденсатора), применяют основные эжекторы, эжекторы создают глубокий вакуум, отсасывают воздух и удаляют в помещение машинного зала. Для определения количества удаляемого воздуха часто применяются дроссельные воздухомеры ВТИ¹ (рисунок 1), его устанавливают на выхлопной патрубок основного эжектора [1].



Воздухомер представляет собой прибор дроссельного типа. Устройство совмещает в себе дроссельный орган (измерительную диафрагму) и одностекольный водяной дифманометр.¹

Дроссельный орган имеет два отверстия: меньшего диаметра – для расходов воздуха до 8 кг/ч, и большего – до 20 кг/ч, существуют конструкции расходомерного устройства для расходов воздуха до 50 кг/ч. Поскольку эжектор выбрасывает насыщенную смесь воздуха с водяным паром, градуировка шкал предполагает наличие наиболее часто встречающегося значения температуры этой смеси (55 ± 5) °С. В случае же значительного отклонения температуры смеси от этого значения, к показанию прибора вводится соответствующая поправка.

Расходомерное устройство ВТИ имеет ряд эксплуатационных особенностей, связанных с необходимостью обслуживания водяного манометра, недостатком устройства является невозможность автоматизации. Также расходомер имеет ограничение по измерению расхода; в настоящее время на многих турбинах присосы неконденсируемых газов достигаются 100 кг/ч и более [1].

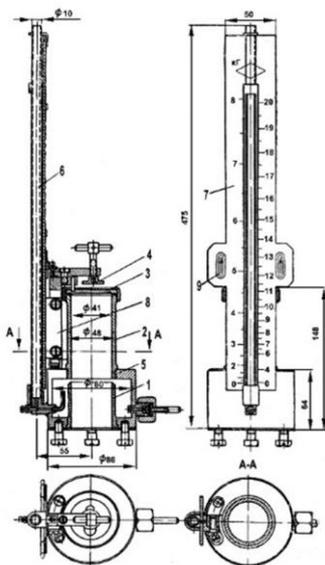


Рисунок 1. Устройство дроссельного воздухомера ВТИ:

1 и 2 – патрубки; 3 – дроссельный орган; 4 – затвор; 5 – фланец; 6 – измерительная трубка; 7 – шкала; 8 – крепление шкалы; 9 – указатель шкалы

В связи с необходимостью измерять присосы воздуха более 100 кг/ч и передавать данные на автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП) разработано расходомерное устройство УрФУ (рисунок 2). Расходомерное устройство УрФУ состоит из цилиндрической втулки (1) с резьбой М70Х1,5². На втулку устанавливаются расходомерные шайбы (3) с диаметром отверстия 10 мм, 20 мм, 30 мм или 40 мм, необходимые для измерения расходов воздуха в диапазоне 0-14 кг/ч,

10-50 кг/ч, 40-130 кг/ч или 30-200кг/ч, соответственно [2]. Расходомерная шайба фиксируется на втулке с помощью крышки (2) с резьбой М70Х1,5 с основанием, которое крепится к выхлопному патрубку эжектора. Все элементы устройства выполнены из нержавеющей стали. Шайбы устанавливаются в устройство острой кромкой навстречу потоку, на боковых поверхностях цилиндрической втулки установлены штуцеры (4) для присоединения датчиков давления и температуры.

¹ Всероссийский теплотехнический институт

² Диаметр втулки соответствует выхлопному отверстию эжектора



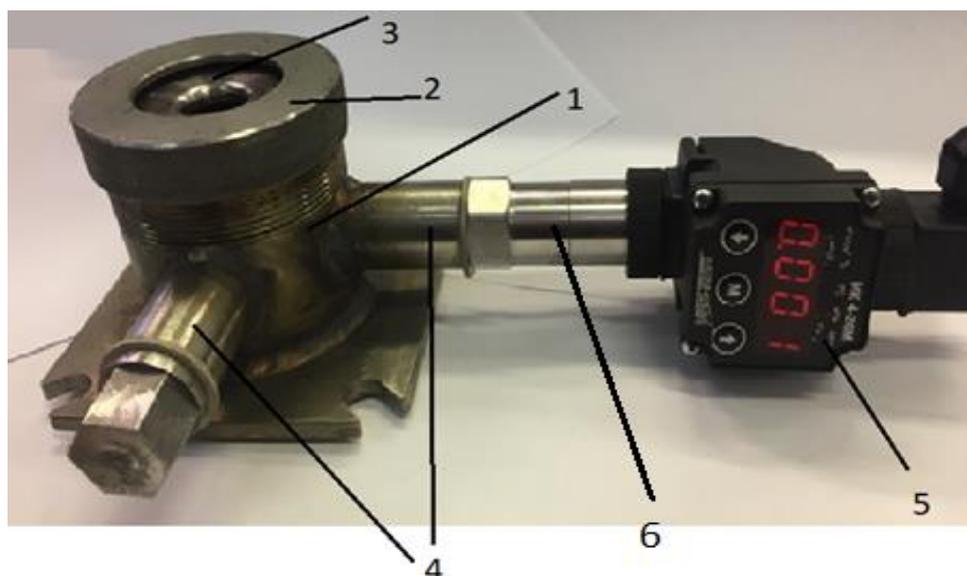


Рисунок. 2. Расходомерное устройство УрФУ1 – цилиндрическая втулка;
 2 – крышка; 3 – расходомерная шайба; 4 – штуцер; 5 – Индикатор-коммуникатор ИК 4-20М;
 6 – Преобразователь давления измерительный СДВ-И-0,01

Для расчета расхода паровоздушной смеси используется формула [2]:

$$G_B = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\Delta p \cdot \rho_{см} \cdot \varepsilon_B} \quad (1)$$

где:

α – коэффициент расхода

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \cdot [0,99 \cdot 0,2262 \cdot m^{2,05} + (0,000215 - 0,00125 \cdot m^{0,5} + 0,00249m^{2,35}) \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{1,15}]; \quad (2)$$

β – поправочный множитель на расширение измеряемой среды. Так как изменение давления в расходомере незначительно, то можно считать паровоздушную смесь несжимаемой, следовательно $\beta = 1$;

Δp – измеряемый перепад давления на расходомере, Па;

$\rho_{см}$ – плотность паровоздушной смеси, $\frac{кг}{м^3}$;

d – диаметр расходомерной шайбы, м;

$\varepsilon_B = \frac{p_{см} - p_{п}}{p_{см} - 0,378 \cdot p_{п}}$ – коэффициент, учитывающий весовое содержание воздуха в смеси;

Re – число Рейнольдса смеси [2];

Принимается в зависимости от m :

для $0,05 \leq m \leq 0,20$ $Re = 5 \cdot 10^3$

для $0,20 \leq m \leq 0,59$ $Re = 10^4$

для $0,59 \leq m \leq 0,64$ $Re = 2 \cdot 10^4$.

$m = \frac{f}{F}$ – относительная площадь, где:

f – площадь отверстия расходомерной шайбы, $м^2$;

F – площадь цилиндрической втулки прибора, $м^2$;

$p_{п}$ – парциальное давление пара находится по таблицам свойств воды и водяного пара

[3] по температуре смеси.



Плотность паровоздушной смеси определяем, как сумма плотности пара и плотности воздуха:

$$\rho_{см} = \rho_{в} + \rho_{п}. \quad (3)$$

Плотность пара берём из таблиц свойств водяного пара [3] по температуре паровоздушной смеси при условии, что пар находится в состоянии насыщения. Необходимо найти плотность воздуха, из уравнения состояния идеального газа:

$$\rho_{в} = \frac{RT_{см}}{p_{в}} \quad (4)$$

Давление воздуха $p_{в}$ находится, из условия, что давление смеси, равняется сумме парциальных давлений пара и воздуха:

$$p_{в} = p_{см} - p_{п}. \quad (5)$$

Давление смеси определяется как сумма барометрического давления и разности давления на расходомере:

$$p_{см} = p_{бар} + \Delta p. \quad (6)$$

Тарировка расходомерного устройства проводилась при испытаниях эжектора по методике [4]. В процессе проведения испытаний эжектора в приемную камеру через калиброванную расходомерную шайбу впускалось заданное (фактическое) количество воздуха. Расходомерное устройство устанавливалось на выхлопе эжектора. Из полученных результатов была построена зависимость расхода паровоздушной смеси от перепада давления, изображенная на рисунке 3.

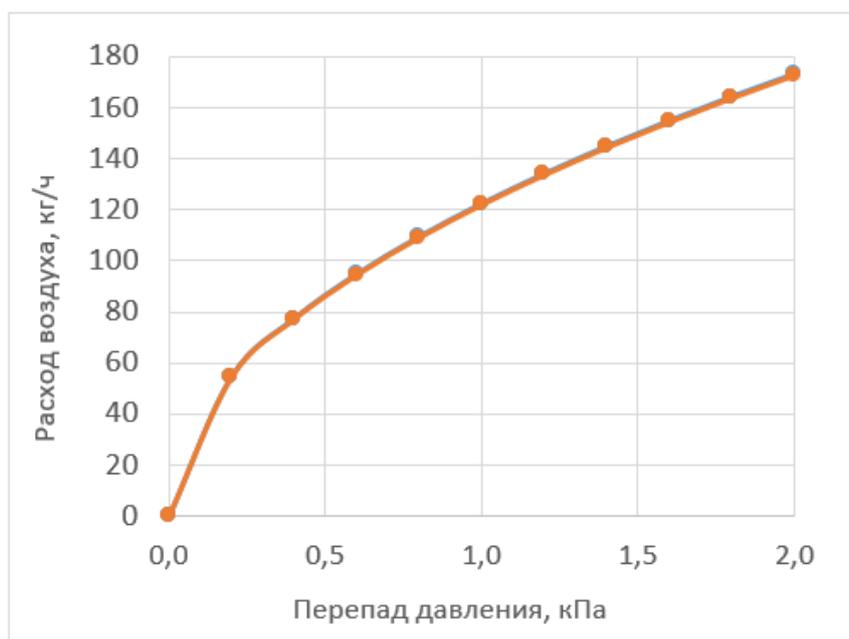


Рисунок 3. Зависимость расхода воздуха от перепада давления на расходомерном устройстве

Сравнение показаний расходомера с количеством впускаемого воздуха представлено на рисунке 4, видно, что удовлетворительное согласование фактических значений расходов впускаемого воздуха с измеренными. Измеренный расход воздуха на 2-7% ниже фактического расхода.



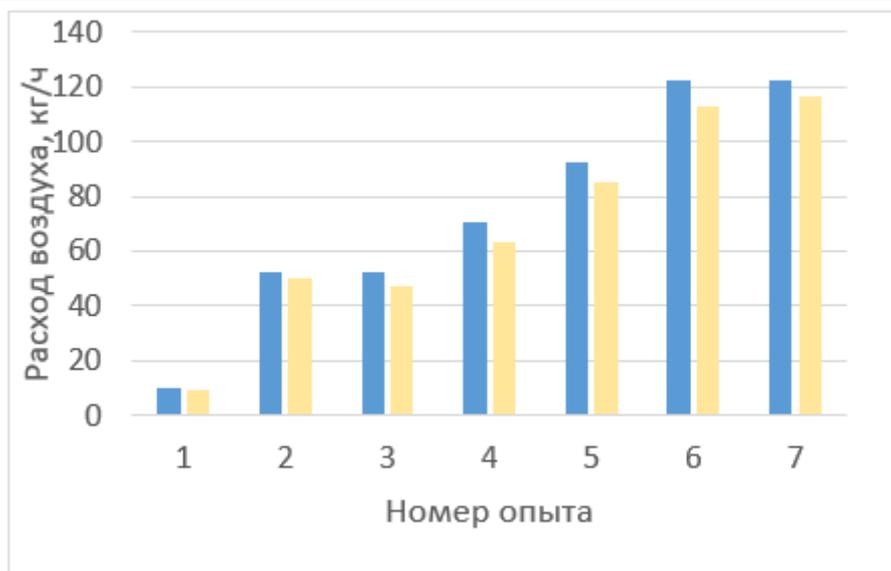


Рисунок 4. Сопоставление измеренных и фактических расходов.

Таким образом на Сургутской ГРЭС-1 реализовано автоматическое измерение расхода и температуры воздуха, отсасываемого из вакуумной системы основного эжектора на ТГ №7, данные поступают в автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУТП) турбины.

Список литературы:

1. К.Э. Аронсон Эжекторы конденсационных установок паровых турбин / А.Ю. Рябчиков, Д.В. Брезгин, И.Б. Мурманский // Учебное пособие Издательство Уральского университета.: 2015. 19-22 с.
2. РД 50-213-80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами/ П.А. Гаршин // М.: Москва издательство стандартов, 1982. 3-12 с.
3. М.П. Вукалович Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. М.: Изд-во Стандартов, 1969. 54 с.
4. РД 34.30.302-87 Методические указания по наладке и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АС /Белевич А.И. // М.: Минэнерго СССР, 1990. 34 с.

