

Толеуов Г., Сейтжаппарова А.,
Жетибай Г., Серикова А.,
Рустемова С., Есеналина К.

**Проблемы измерения
температуры и температурного
поля при исследовании
свободных струй**

Проведены исследования трехмерных турбулентных струй, исходя из особенностей измерения динамических, тепловых характеристик струи. Скорость потока изменялась в пределах $6 \div 15$ м/с. Температура потока варьировалась от комнатной до 60° С. Предварительные измерения показали, что формы поперечных профилей по обеим осям симметрии сопла близка к равномерному распределению, имеются лишь небольшие неравномерности в областях, соответствующих отводу тепла от внешних сторон сопла. По этой причине внешние стороны прямоугольных сопел по возможности теплоизолировались от окружающей среды с тем, чтобы до минимума свести отклонение от прямоугольной формы поперечных профилей температуры на срезе сопла. В процессе экспериментов осуществлялась корректировка данных путем построения градуировочной кривой для вычисления значений температуры. Перемещение записывающего устройства самописца по координате y было проградуировано относительно показаний ртутного термометра. Исследования аэродинамики и процессов теплопереноса трехмерных турбулентных струй проводились в широком диапазоне геометрических параметров сопла, начальной скорости истечения и параметров управляющего воздействия.

Ключевые слова: свободная струя, турбулентность, сопло, распределение температуры, градуировка.

Toleuov G., Seitzhapparova A.,
Zhetibay G., Serikova A.,
Rustemova S., Esenalina K.

**Problems of measurement of
temperature and temperature
field in the study of free jets**

The experimental setup allowed to conduct research of three-dimensional turbulent jets, based on the characteristics measurement dynamic, thermal characteristics jets. A flow rate varied between the limits $6 \div 15$ m/s. A flow temperature varied from room temperature to 60° C. Preliminary measurements have shown that the shape of the transverse profiles in both axes of symmetry of the nozzle close to a uniform distribution, there are only small areas rather irregularly in the corresponding heat dissipation from the outer sides of the nozzle. For this reason, the outer sides of the rectangular nozzles possible heat insulated from the environment. It is necessary to reduce to a minimum deviation from the rectangular shape by cross sections of temperature at the nozzle exit. In the course of the experiments carried out data correction by constructing a calibration curve to calculate the values of temperature. Moving the recorder on the y coordinate was relatively calibrate mercury thermometer readings. Studies aerodynamics and heat transfer processes three-dimensional turbulent jets performed in a wide range of geometric parameters of the nozzle, and a flow rate of the initial parameters of the control action.

Key words: free jet, turbulence, nozzle, temperature distribution, grading.

Төлеуов Г., Сейтжаппарова А.,
Жетібай Г., Серікова А.,
Рүстемова С., Есеналина К.

**Еркін ағыншаларды зерттеу
кезіндегі температураны және
температуралық өрісті өлшеу
проблемалары**

Ағыншаның динамикалық және жылулық сипаттамаларын өлшеудің ерекшеліктерін ескере отырып, үшөлшемді турбуленттік ағыншалар зерттелді. Ағынның жылдамдығы $6 \div 15$ м/с шектерінде өзгеріп отырды. Ағынның температурасы комнаталықтан 60° С-қа дейін вариацияланды. Алдын-ала өлшеулер соплоның екі симметрия өстері бойынша жылдамдықтың көлденең профилдерінің формалары бірқалыпты таралуға жақын екендігін көрсетті, тек соплоның сыртқы беттерінен жылудың кетуіне байланысты облыстарда аздаған біркелкіліксіздіктер байқалды. Осы себепті аталған сыртқы беттер қоршаған ортадан жылуоқшауланды, нәтижесінде профилдегі біркелкіліксіздіктер минимумға келтірілді. Эксперимент кезінде температура мәндерін есептеу үшін градуировкалық қисықты тұрғызу жолымен берілгендерді корректировкалау жүргізілді. Өздігінен жазатын қондырғының жазу тетігінің орын ауыстыруы y координатасы бойынша сынап термометрінің көрсетуімен салыстырғанда градуирленді. Үшөлшемді турбуленттік ағыншаның аэродинамикасын және жылу тасымалын зерттеу, соплоның геометриялық параметрлерінің, ағынның бастапқы жылдамдығының кең диапозондарында жүргізілді.

Түйін сөздер: еркін ағынша, турбуленттік, сопло, температураның таралуы, градуирлеу.

**ПРОБЛЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ И
ТЕМПЕРАТУРНОГО
ПОЛЯ ПРИ
ИССЛЕДОВАНИИ
СВОБОДНЫХ СТРУЙ**

Введение

В последние годы, в различных устройствах, применяемых в энергетике, вентиляционной технике, реактивной технике и т.д., начались использоваться турбулентные струи, вытекающие из отверстия прямоугольного, эллиптического или какого-либо иного сечения, имеющего больше чем один характерный размер [1-4]. Для трехмерных струй, обладающих повышенной чувствительностью к внешним воздействиям не достаточно изучались проблемы, касающихся теплопереноса таких струй. Это обстоятельство послужило основанием для постановки задачи экспериментального исследования.

Экспериментальная установка

Экспериментальные установки позволяли провести исследование трехмерных турбулентных струй, исходя из особенностей измерения динамических, тепловых характеристик струи.

Эксперименты проводились на установке (рисунок 1), где воздух от вентилятора 1 поступал через виброгасящий переход 2 в успокоительную камеру 3, затем через сетки 4 и 5 истекал из сопла 6 с прямоугольной формой выходного сечения.

Корневая часть струи располагалась в рабочей части теневого прибора ИАБ-451, оборудованного так, что можно было наблюдать теневую мгновенную картину течения.

Воздействие на струю осуществлялось с помощью динамика 7 мощностью 50 Вт, размещенного в успокоительной камере фронтально к выходному сечению струи.

Для измерения средней скорости и динамического давления применялись трубка Пито 8 и микроманометр 9 марки ММН-240.

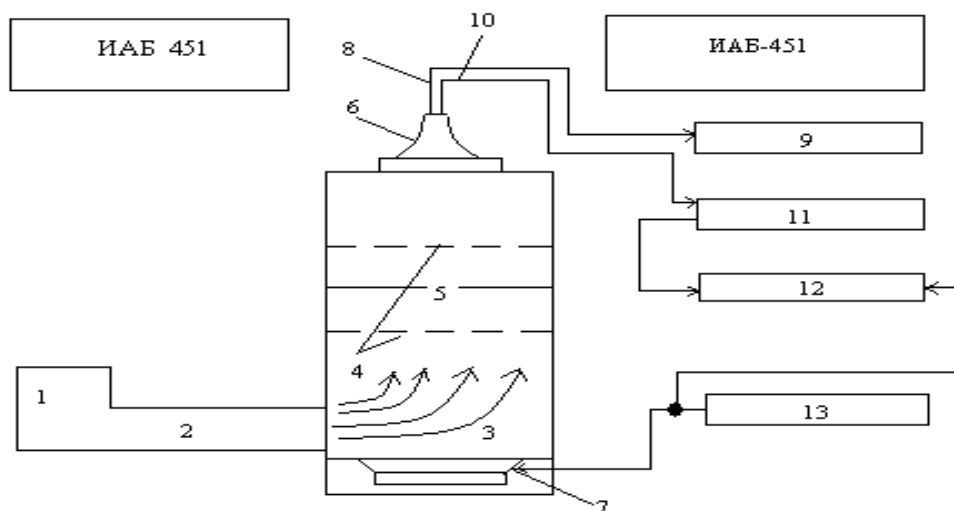
Во время эксперимента с помощью двух координатных самописцев, оборудованных дополнительными устройствами производили запись динамических и тепловых характеристик в виде пространственных распределений.

Для формирования трехмерных струй использовались сменные сопла (рисунок 2) с различными удлинениями. Удлинением сопла называют отношение длинной стороны к короткой

стороне b на срезе сопла ($\lambda=a/b$). Прямоугольные сопла имели одинаковую высоту 90 мм, со степенями поджатия $c \approx 10$, причем значения площадей среза выхода для всех сопел были примерно одинаковы и равно велики по площади круглому соплу, диаметр которого составлял бы

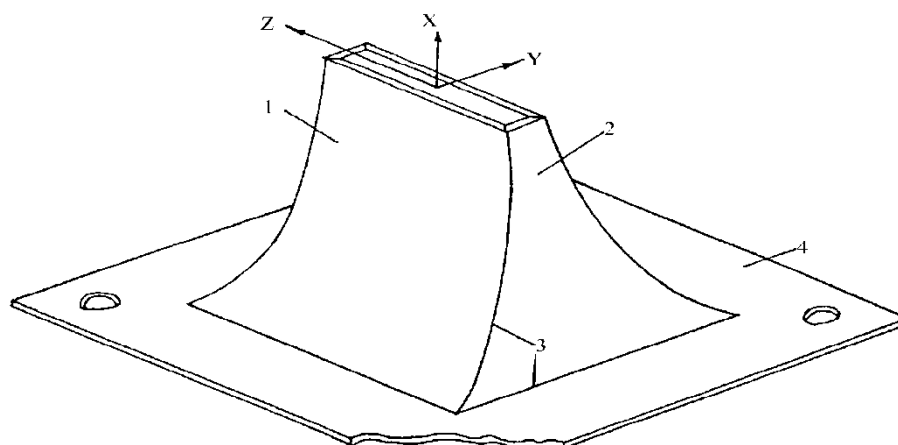
$d_{кр.} = 22,57$ мм. В соответствии с этим эффективный диаметр каждого прямоугольного сопла $d_э$ был приблизительно таким же, как диаметр круглого сопла. Здесь $d_э = 2\sqrt{ab/\pi}$.

В опытах использовались сопла с удлинением $\lambda = 2,66; 11,00$.



1 – вентилятор; 2 – виброгасящий переход; 3 – успокоительная камера;
4 – выравнивающие сетки; 5 – нагреваемая сетка; 6 – сопло; 7 – динамик;
8 – трубка Пито; 9 – микроанометр; 10 – датчик термоанемометра; 11 – система термоанемометрического блока типа СТМ-02; 12 – блок фазовой выборки; 13 – звуковой генератор.

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки



1, 2 – стороны сопла; 3 – линии припайки; 4 – основание сопла.

Рисунок 2 – Конструкция сопла с прямоугольным выходным сечением

Экспериментальное исследование теплопереноса в трехмерных струях проводилось на той же экспериментальной установке, которая описана выше. Воздух, поступающий в успокоительную камеру через выравнивающие сетки, истекал из прямоугольного сопла. Струя при этом нагревалась с помощью нагревателя, смонтированного во входном сечении сопла. Схема его устройства представлена на рисунке 3.

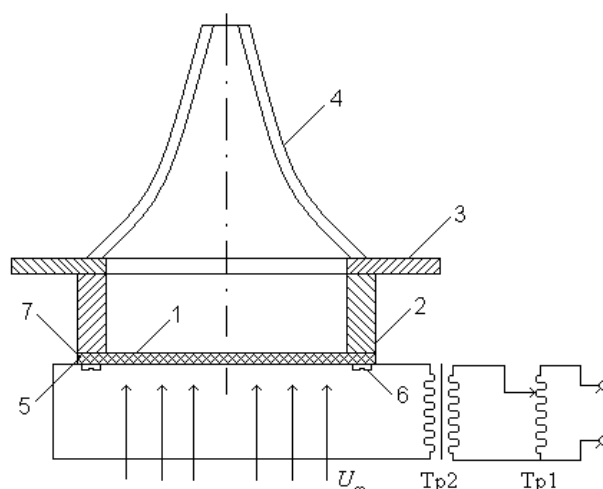
При получении равномерного профиля температуры в выходном сечении струи возникли определенные трудности технического характера. Они были преодолены, во-первых, выбором мелко ячеистой никелевой сетки, во-вторых, близким расположением друг другу контактных зажимов (5). При этом эти зажимы вместе с контактным слоем из олова (7) плотно прижимались к текстолитовой державке с помощью крепежных болтов (6). Тем самым устранялся нежелательный дополнительный нагрев в месте контакта.

Скорость потока изменялась в пределах $6 \div 15$ м/с. Температура потока варьировалась от комнатной до 60°C .

Схема экспериментальной установки (рисунок 4) для измерения распределения температуры содержит следующие составные части: медь-константовую термопару, цифровой вольтметр универсальный В7-21, двухкоординатный самописец ПДП4-002.

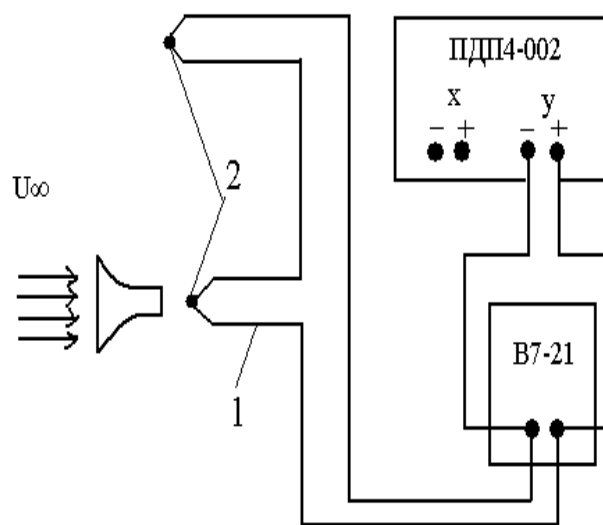
Для измерения распределения температуры струи использовалась медь-константовая термопара, «горячий» спай которой размещался в потоке, а другой, так называемый «холодный» спай, находился при комнатной температуре. ЭДС термопары измерялась цифровым вольтметром В7-21. Сигнал от термопары подавался также на двухкоординатный самописец ПДП4-002, где производились непрерывные записи изменения температуры вдоль оси струи и в поперечных сечениях.

Начальные условия истечения струи при исследовании теплопереноса поддерживались такими же, как в аэродинамических исследованиях. Температура внешней среды и струи у выхода сопла поддерживалась постоянной и контролировалась ртутным термометром с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$.



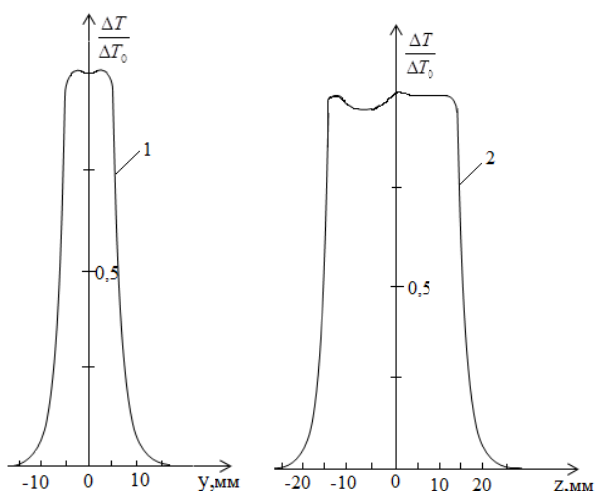
1 – нагреваемая сетка; 2 – текстолитовая державка; 3 – приспособление для закрепления сопла к успокоительной камере; 4 – сопло; 5 – контактный зажим; 6 – болт; 7 – контактный слой олова; Tr1-ЛАТР; Tr2-трансформатор тока.

Рисунок 3 – Экспериментальная установка для нагрева струи



1 – термопара; 2 – спай термопары.

Рисунок 4 – Схема установки для измерения температуры



1 – вдоль оси, параллельной короткой стороне сопла;
2 – вдоль оси, параллельной длинной стороне сопла.

Рисунок 5 – Распределение температуры на срезе сопла для $\lambda=2,66$

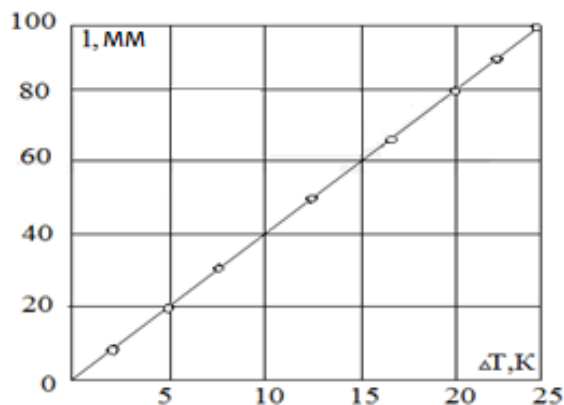
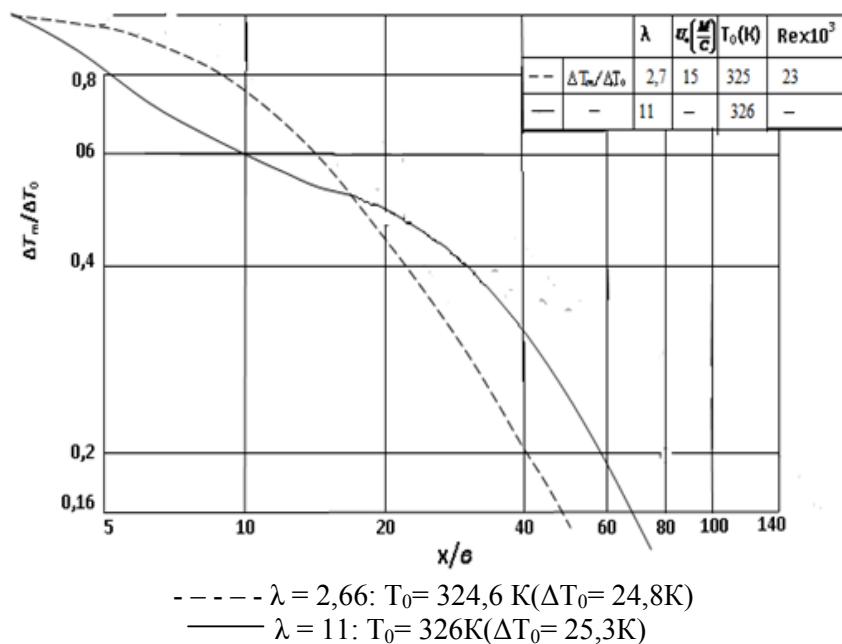


Рисунок 6 – Градуировка термопары в виде зависимости значений перемещения записывающего устройства от показаний ртутного термометра



----- $\lambda = 2,66: T_0 = 324,6 \text{ K} (\Delta T_0 = 24,8 \text{ K})$
 ————— $\lambda = 11: T_0 = 326 \text{ K} (\Delta T_0 = 25,3 \text{ K})$

Рисунок 7 – Распределение избыточной температуры по оси трехмерной струи при различных значениях параметра λ при начальной скорости $U_0 = 15 \text{ м/с}$.

Результаты измерений

Предварительные измерения показали (рисунок 5), что формы поперечных профилей по обеим осям симметрии сопла близка к равномерному распределению, имеются лишь небольшие неравномерности в областях, соответствующих отводу тепла от внешних сторон сопла. По

этой причине внешние стороны прямоугольных сопел по возможности теплоизолировались от окружающей среды с тем, чтобы до минимума свести отклонение от прямоугольной формы поперечных профилей температуры на срезе сопла.

В процессе экспериментов осуществлялась корректировка данных путем построения градуировочной кривой (рисунок 6) для вычис-

ления значений температуры. Перемещение записывающего устройства самописца по координате y было проградуировано относительно показаний ртутного термометра.

Исследования аэродинамики и процессов теплопереноса трехмерных турбулентных струй

проводились в широком диапазоне геометрических параметров сопла, начальной скорости истечения и параметров управляющего воздействия. В качестве примера на рисунке 7 приведено распределение температуры вдоль оси неизотермической струи при $\lambda=2,66$ и 11.

Литература

- 1 Sfeier A.A The velocity and temperature fields of rectangular jets // Int. J. Heat and Mass Transfer. 19, №11. (1976). 1298-1297.
- 2 Абрамович Г.Н., Гиршович Н.А., Крашенинников С.Ю. и др. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое перераб. и доп. / Под ред. Абрамовича Г.Н. – М., 1984. – 720 с.
- 3 Faghani, E.; Maddahian, R.; Faghani, P.; Farhanieh, B. Numerical investigation of turbulent free jet flows issuing from rectangular nozzles: the influence of small aspect ratio // Archive of applied mechanics. – 2010. – Vol.80 (7). – P. 727-745.
- 4 Lhendup Namgyal and Joseph W. Hall. Coherent Streamwise Vortex Structures in the Near-Field of the Three-Dimensional Wall Jet // J. Fluids Eng. – 2013. – Vol.135(6). – P. 120-126.

References

- 1 Sfeier A.A The velocity and temperature fields of rectangular jets // Int. J. Heat and Mass Transfer. 19, №11. (1976). 1298-1297.
- 2 Abramovich G.N., Girshovich G.A., Krashennnikov S.Ju. idrugie. Teoriya turbulentnyh struj. Izd. 2-oe pererab. idop. / Pod red. G.N. Abramovicha. – M., 1984. – 720 s. (in russ).
- 3 Faghani, E.; Maddahian, R.; Faghani, P.; Farhanieh, B. Numerical investigation of turbulent free jet flows issuing from rectangular nozzles: the influence of small aspect ratio // Archive of applied mechanics. 80 (7). (2010). 727-745.
- 4 Lhendup Namgyal and Joseph W. Hall. Coherent Streamwise Vortex Structures in the Near-Field of the Three-Dimensional Wall Jet // J. Fluids Eng. 135 (6). (2013). 120-126.