

## КРУГЛАЯ И ПЛОСКАЯ ТУРБУЛЕНТНЫЕ СТРУИ, РАЗВИВАЮЩИЕСЯ В СПУТНОМ ПОТОКЕ

Э. ТИММА

Ю. ИВАНОВ,

доктор технических наук

Аналитические и экспериментальные исследования закономерностей турбулентных струй, выполненные как у нас, так и за границей, способствовали пониманию физической сущности рабочих процессов, протекающих в различных установках, и позволили для некоторых из них дать количественную оценку явлений переноса тепла и вещества.

Как уже показано в работах [8] и [9], имеется большое расхождение в определении скорости струи, развивающейся в спутном потоке. Также известно, что экспериментально и аналитически мало изучен переходный участок струи, находящийся между основным и начальным ее участками.

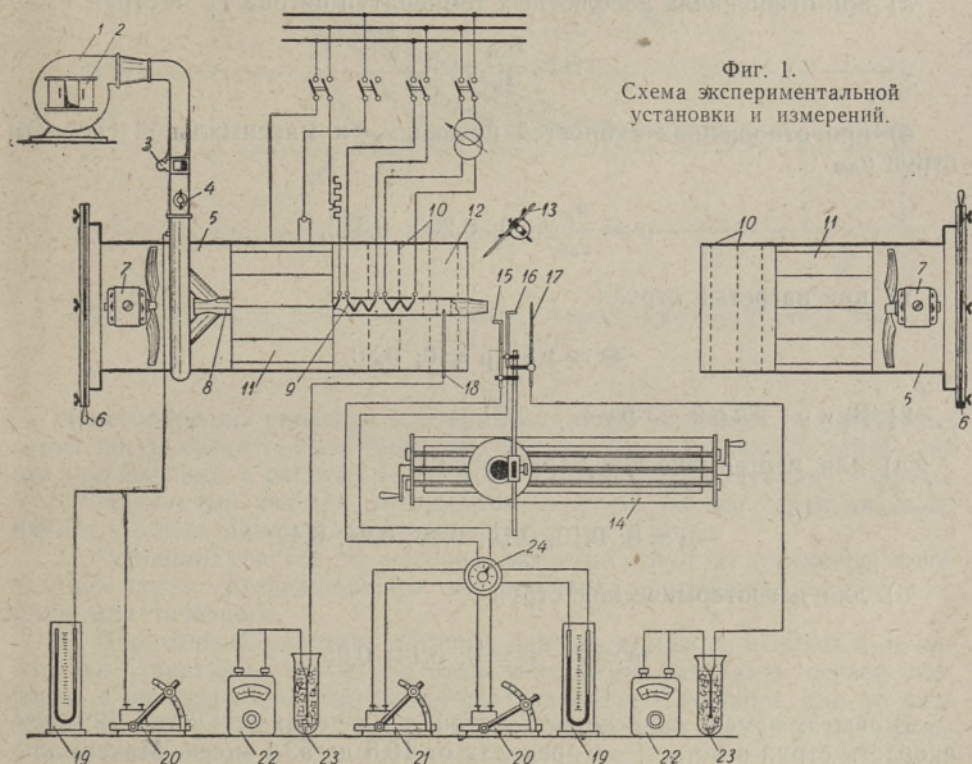
В этой статье сделана попытка экспериментально изучить турбулентную струю, возникающую в спутном потоке, и выяснить некоторые существенные закономерности ее развития. Данная работа является продолжением исследований, проведенных ранее в Институте энергетики АН ЭССР.

Общий вид экспериментальной установки и схема измерений показаны на фиг. 1. Основная часть установки представляет собой горизонтальную аэродинамическую трубу диаметром 700 мм. Воздушный поток в трубе создается вмонтированными в нее двумя аксиальными вентиляторами МЦ-7.

Для исключения вращения основного потока в трубу вставлялись успокоители в виде обечаек с набранными рядами ячеек. Выравнивание скоростного поля потока по сечению трубы производилось тремя рядами сеток. Скорость потока регулировалась на всасывающей части аэродинамической трубы при помощи регулятора секторного типа. В центральной части аэродинамической трубы вдоль ее оси вставлялась изолированная асбестом труба внутренним диаметром 68 мм, соединенная с вентилятором, создающим исследуемую струю. Скорость струи регулировалась на входном патрубке вентилятора. В трубу вмонтирован четырехсекционный регулируемый электрический нагреватель общей мощностью порядка 10 квт. Подача воздуха в трубу из вентилятора осуществлялась через четыре трубки (сплюснутые для уменьшения нарушений основного потока), помещенные симметрично в аэродинамической трубе. Центральная труба, по которой подается струя, оканчивается на срезе аэродинамической трубы съемным соплом на винтовом соединении. В опытах использовались круглые сопла диаметром  $d = 40$  и  $50$  мм и плоские сопла шириной  $2b_0 = 14$  мм, длиной  $h = 200$  мм.



Измерения динамического напора производились пневмометрической микротрубкой, отсчет показаний которой производился на микроманометре типа ММН с дополнительными уклонами  $\sim \frac{1}{16}$  и  $\frac{1}{32}$ . Измерительные приборы перемещались в потоке с помощью координатника в любую точку измеряемого поля в интервале изменений координат  $x$  от 0 до 650 мм и  $y, z$  от 0 до  $\pm 500$  мм. Измерения температуры производились двумя термопарами хромель-алюмель сечением из проволоки  $\varnothing 0,1$  мм с отчетом показаний на переносном потенциометре ПП.



Фиг. 1.  
Схема экспериментальной  
установки и измерений.

1 — Вентилятор среднего давления; 2 — Шибера на входном патрубке вентилятора; 3, 4 — Шибера на выходном патрубке вентилятора; 5 — Аэродинамическая труба для потока  $\varnothing 700$  мм; 6 — Регулятор количества засасываемого воздуха основного потока; 7 — Вентилятор МЦ-7; 8 — Центральная труба для создания струи —  $d_{\text{вн}} = 68$  мм; 9 — Нагреватели струи общей мощностью 10 кВт; 10 — Сетки для выравнивания скоростного поля потока; 11 — Успокоители в виде обечайки с набранными рядами ячеек для исключения вращения основного потока; 12 — Сетки для выравнивания скоростного поля потока в центральной трубе; 13 — Термометр для измерения средней температуры потока; 14 — Координатник; 15, 16 — Микротрубки для измерения поля скоростей струи; 17 — Термопара с открытым спаем для измерения температурного поля струи; 18 — Режимная термопара для контроля температуры струи в центральной трубе в течение опыта; 19 — U-образный манометр; 20 — Микроманометр типа ММН; 21 — Микроманометр типа ММН, специально оттарированный с уклонами  $\frac{1}{16}$  и  $\frac{1}{32}$  для измерения малых значений перепадов давления; 22 — Потенциометр типа ПП; 23 — Сосуды Дьюара; 24 — Переключатель давления.



## Результаты экспериментальных исследований

Экспериментально изучены начальный и переходный участки. Значительно меньше в данной работе исследовался основной участок турбулентной круглой и плоской струй, развивающихся в спутном потоке. В сечениях струи измерены составляющие скорости  $u$  по оси  $x$  и температура при следующих значениях параметров:

1. В плоской струе

а) при отношениях абсолютных температур потока  $T_n$  и струи  $T_{от}$

$$\Theta = \frac{T_{от}}{T_n} \approx 1,$$

б) при отношениях скоростей потока  $u_n$  и максимальной скорости струи  $u_{от}$

$$\mu = \frac{u_n}{u_{от}} = 0; 0,200; 0,333,$$

в) при нагретых струях

$$\Theta \approx 1,5; \mu = 0; 0,30.$$

2) В круглой струе

а) для изотермической струи  $\Theta \approx 1$

$$\mu = 0; 0,10; 0,15; 0,16; 0,24; 0,49,$$

б) для неизотермической струи

$$\Theta = 2; \mu = 0; 0,14; 0,25.$$

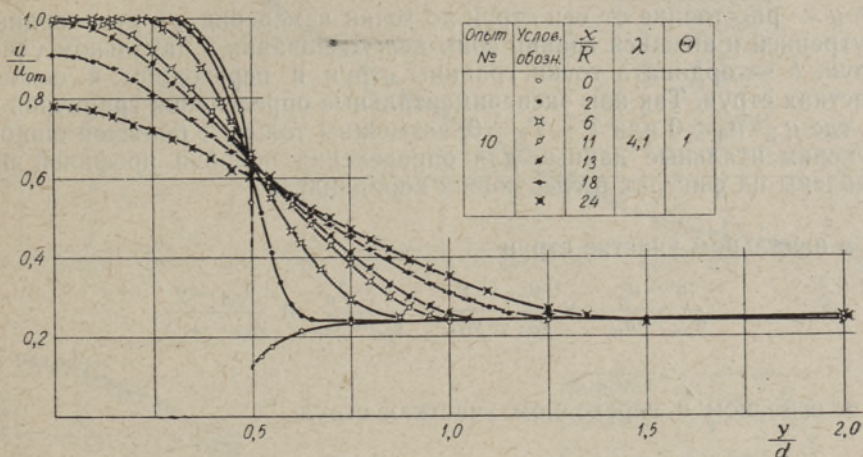
В опытах изменялась скорость потока в пределах от 4,9 до 5,12 м/сек, скорость струи в устье — в пределах от 10,5 до 53,3 м/сек. Максимальная разность температур между ненагретой струей и потоком не превышала 10°С, и поэтому можно считать, что  $\Theta \approx 1$ . Температура спутного потока при проведении опытов равнялась комнатной.

Температурное и скоростное поля в сечениях струй оказались достаточно симметричными, и поэтому при определении скоростного и температурного полей имелась возможность проводить измерения в сечениях круглой струи только по горизонтальной линии, проходящей через ее центр.

На фиг. 2 показаны скоростные профили в разных сечениях круглой струи при  $\Theta = 1$  и  $\lambda = 4,1$ . Мы видим, что в начальном сечении струи скоростной профиль неравномерный и, начиная с расстояния, равного примерно одному диаметру от среза сопла круглой струи, скорость потока на линии сопла не меньше осредненной скорости потока  $u_n$ . Распределение скоростей по сечению потока почти равномерное. Относительное отклонение от среднего значения скорости  $u_n$  не превышает 3%. Заметная деформация скоростного поля, как видно из фиг. 2, имеется только вблизи сопла.



Относительная ошибка измерений скорости по всему объему струи не превышала 3%. Точность измерения была выше у оси струи и падала в направлении к ее границам. При измерениях температур относительная ошибка не превышала 4%.



Фиг. 2. Профили скорости в различных сечениях круглой струи, при  $\lambda = 4,1$ ,  $\Theta = 1$ .

Целесообразно провести экспериментальное изучение турбулентной струи по ее характерным участкам. Так, в струе можно выделить, как это уже сделано в работах Г. Н. Абрамовича [1-5], следующие участки:

1. Начальный участок, на котором скорость по оси струи не изменяется и равна максимальной скорости струи в устье.

2. Основной участок, на котором развитие струи по структуре такое же, как струи, развивающейся из источника бесконечно малой ширины или точечного.

3. Переходный участок, который заключен между основным и начальным участками струи. На этом участке на затухание осевой скорости существенно влияют некоторые начальные условия, как то размеры сопла, начальная турбулизация, скоростной профиль в начальном сечении струи.

Одним из важнейших свойств турбулентной струи является подобие безразмерных избыточных профилей скоростей как в начальном, так в переходном и в основном участках струи. Здесь под подобием подразумевается представление скоростных профилей в разных сечениях струи при помощи одной и той же функции, т. е. действительно следующее соотношение:

$$\frac{u - u_n}{u_m - u_n} = f_k(\eta), \quad (1)$$

где  $u$ ,  $u_m$ ,  $u_n$  — скорости соответственно в произвольной точке струи, по оси струи и в данной точке,  $f_k(\eta)$  — универсальная функция в сечениях струи, которая может иметь разный вид в начальном, переходном и основном участках струи,  $\eta$  — безразмерная ордината точки, которая в начальном участке струи определяется

$$\eta = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}, \quad (2)$$



а в переходном и основном участках струи

$$\eta = \frac{y}{\delta}, \quad (3)$$

где  $y$  — расстояние от оси струи до точки измерения,  $y_1, y_2$  — ординаты внутренней и внешней границ зоны перемешивания в начальном участке струи,  $\delta$  — ордината точки границы струи в переходном и основном участках струи. Так как экспериментальные определения граничной точки, где  $u - u_n = 0$  или  $T - T_n = 0$ , возможны только с большой ошибкой, экспериментальные данные для определения подобия профилей представлены на фигурах в следующих координатах:

в начальном участке струи

$$\frac{u - u_n}{u_{0m} - u_n} \text{ и } \frac{y_{0,5} - y}{y_{0,1} - y_{0,9}}; \quad \frac{T - T_n}{T_m - T_n} \text{ и } \frac{y_{0,5} - y}{y_{0,1} - y_{0,9}}, \quad (4)$$

в основном и переходном участках струи

$$\frac{u - u_n}{u_m - u_n} \text{ и } \frac{y}{y_{0,5}}; \quad \frac{T - T_n}{T_m - T_n} \text{ и } \frac{y}{y_{0,5}}, \quad (5)$$

где  $y_{0,1}, y_{0,5}$  и  $y_{0,9}$  — расстояния от оси струи до точек, в которых безразмерная избыточная скорость  $\frac{u - u_n}{u_m - u_n}$  равна соответственно 0,1; 0,5 и 0,9.

Температурные распределения можно представить еще в координатах

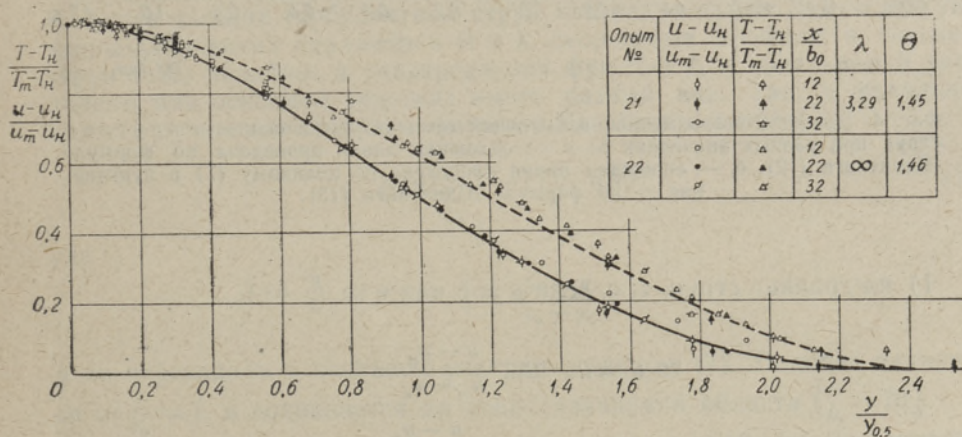
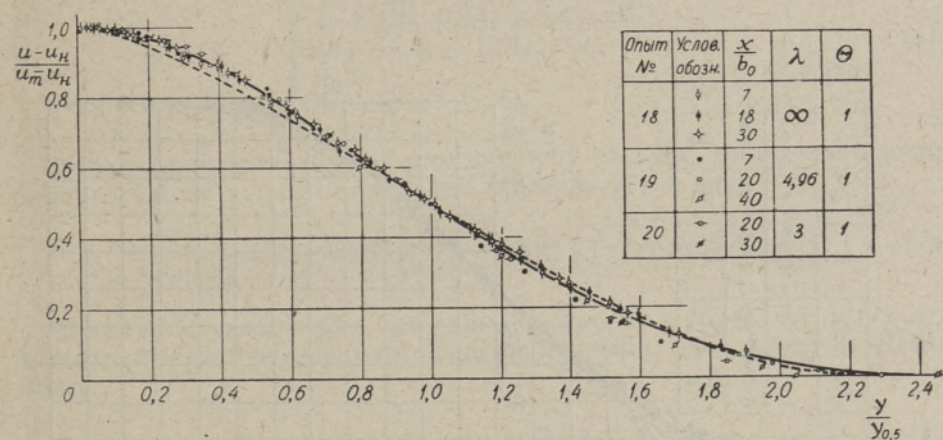
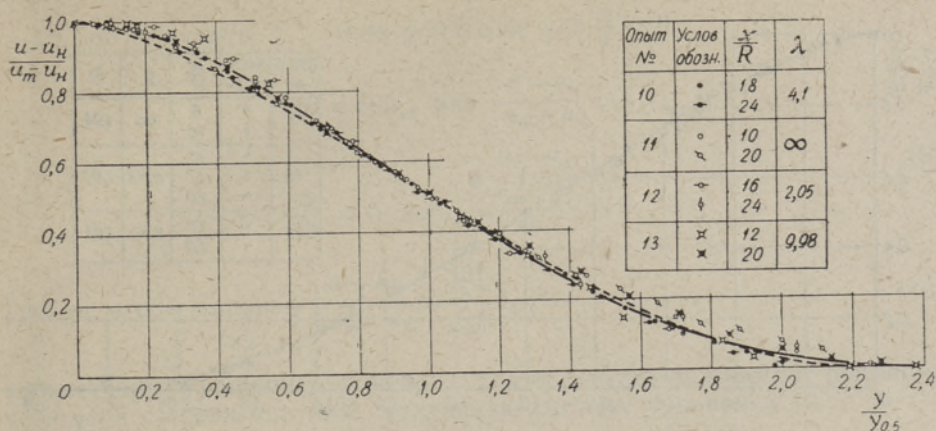
$$\frac{T - T_n}{T_m - T_n} \text{ и } \frac{y}{y'_{0,5}} \text{ или } \frac{T - T_n}{T_m - T_n} \text{ и } \frac{y'_{0,5} - y}{y'_{0,1} - y'_{0,9}}, \quad (6)$$

где  $y'_{0,1}, y'_{0,5}$  и  $y'_{0,9}$  — расстояния от оси струи до точек, в которых безразмерная избыточная температура  $\frac{T - T_n}{T_m - T_n}$  равна соответственно 0,1; 0,5 и 0,9.

На фиг. 3 и 4 представлены скоростные профили в сечениях турбулентных круглых струй при разных значениях параметров  $\Theta$  и  $\mu$ . Мы видим, что скоростные профили в разных сечениях струи подобны. Это подобие, как видно из фиг. 4б, можно наблюдать в струе примерно от устья  $\frac{x}{d} = 1$  до конца изучаемой области. Самой подходящей формулой по сравнению с формулами Шлихтинга [11], Сквайра-Троунсера [12], Толмиена [13], Гертлера [10] и др. для определения скоростного профиля является полином

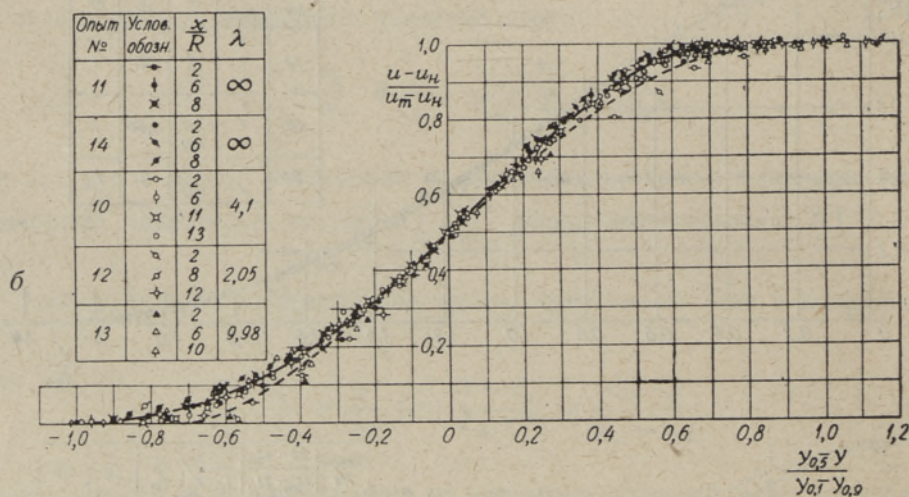
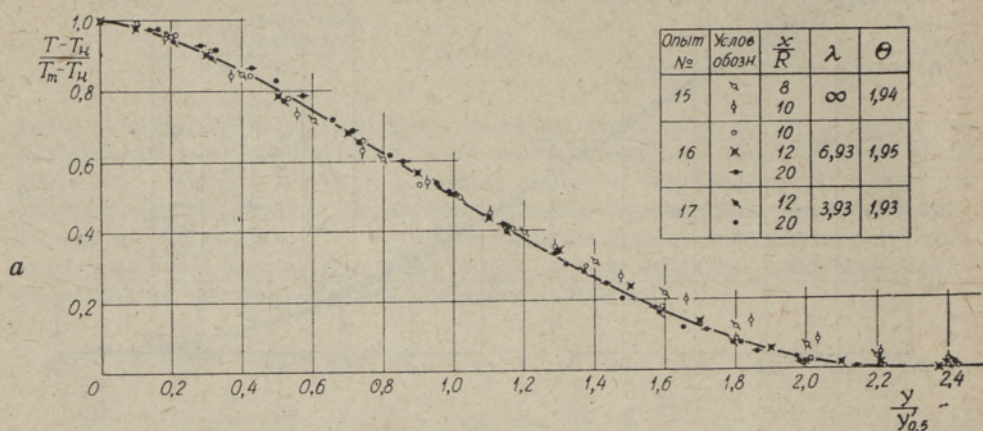
$$f(\eta) = 1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4, \quad (7)$$

предложенный А. С. Гиневским [7] при определении турбулентного касательного напряжения. Эту формулу для безразмерной скорости можно получить при помощи полиномметода из следующих граничных условий:



Фиг. 3. Профили безразмерной избыточной скорости и температуры на основных участках круглой и плоской струй при разных значениях  $\lambda$  и  $\Theta$ . Сплошная линия получена по полиному (7). а — круглая струя ( $\Theta=1$ ), пунктирная линия проведена по формуле Шлихтинга (12); б — плоская струя ( $\Theta=1$ ), пунктирная линия проведена по формуле Шлихтинга (12); в — плоская струя ( $\Theta=1,5$ ), пунктирная линия проведена по формуле (16).





Фиг. 4. Профили безразмерной избыточной температуры и скорости круглой струи при разных значениях  $\lambda$ : а — сплошная линия проведена по формуле Шлихтинга (12), б — сплошная линия проведена по полиному (7) и пунктирная — по формуле Шлихтинга (13).

1) на границе струи, т. е. если  $y = \delta$  или  $\eta = \frac{y}{\delta} = 1$ ,

$$\text{то } u = u_n \text{ или } \frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0, \text{ или } \frac{d}{d\eta} \frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \text{ или } \frac{d^2}{d\eta^2} \frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 0;$$

2) по оси струи, т. е. если  $y = 0$  или  $\eta = \frac{y}{\delta} = 0$ ,

$$\begin{aligned} \text{то } u = u_m \text{ или } \frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 1, \\ \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{d}{d\eta} \frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Требую, чтобы полином 
$$\frac{u - u_n}{u_m - u_n} = \sum_{k=0}^{k=4} A_k \eta^k \quad (10)$$

удовлетворял граничным условиям, для определения констант полинома четвертой степени получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 0, \\ A_1 + 2A_2 + 3A_3 + 4A_4 = 0, \\ 2A_2 + 6A_3 + 12A_4 = 0, \\ A_0 = 1, \\ A_1 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Определив константы, получим формулу (7). Для сравнения с экспериментальными данными приведем формулу (7) к виду

$$\frac{u - u_n}{u_m - u_n} = 1 - 0,893 \left( \frac{y}{y_{0,5}} \right)^2 + 0,459 \left( \frac{y}{y_{0,5}} \right)^3 - 0,0664 \left( \frac{y}{y_{0,5}} \right)^4. \quad (7a)$$

В случае круглой струи, как видно из фиг. 3а и 4б, формула (7) лучше согласуется с экспериментальными данными, чем формула Шлихтинга

$$f_2(\eta) = (1 - \eta^{3/2})^2. \quad (12)$$

В случае плоских турбулентных струй, как видно из фиг. 3б и 3в, при указанных значениях параметров  $\Theta$  и  $\lambda$ , скоростные профили в сечениях струи тоже подобны, а универсальная функция  $f_k$  в начальном и переходном или основном участках имеет разный вид. Так, в начальном участке лучше использовать формулу Шлихтинга в виде

$$f_3(\eta) = 1 - (1 - \eta^{3/2})^2, \quad (13)$$

где

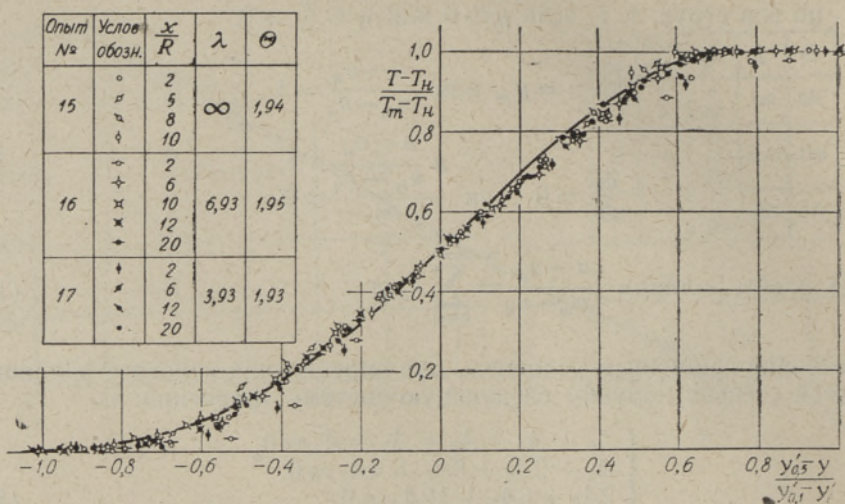
$$\eta = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1},$$

а на переходном и основном участках полином (7). Подобие начинается от  $\frac{y}{b_0} = 1$  и сохраняется до конца изучаемой области  $\left( \frac{y}{b_0} = 70 \right)$ .

Указанное подобие можно заметить также в профилях безразмерной избыточной температуры.

Из фиг. 5, 6 и 4а видно, что профили безразмерной избыточной температуры в сечениях струи при разных значениях параметров  $\Theta$  и  $\mu$  подобны в указанных координатах. В переходном и основном участках круглой и плоской струй можно безразмерные избыточные профили определить по формуле Шлихтинга [11];



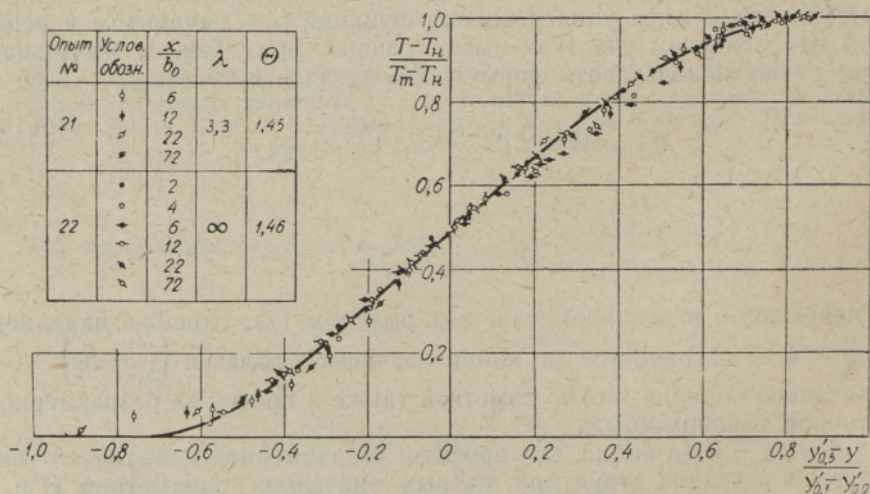


Фиг. 5. Профили безразмерной избыточной температуры неизотермической ( $\Theta = 2$ ) круглой струи при разных значениях  $\lambda$ . Сплошная линия проведена по полиному (14).

в начальном участке круглой струи — при помощи полинома

$$\frac{T - T_n}{T_m - T_n} = 1 - 6(1 - \eta')^2 + 8(1 - \eta')^3 - 3(1 - \eta')^4, \quad (14)$$

где  $\eta' = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1}$ ,  $y_2$ ,  $y_1$  — ордината-граничной точки начального участка, где безразмерная температура  $\frac{T - T_n}{T_m - T_n}$  соответственно равна нулю и 1, и в начальном участке плоской струи — по формуле (13).



Фиг. 6. Профили безразмерной избыточной температуры в поперечных сечениях неизотермической ( $\Theta = 1,5$ ) плоской струи воздуха. Сплошная линия получена по формуле Шлихтинга (13).



Из фиг. 3в видно, что известное соотношение

$$\frac{T - T_n}{T_m - T_n} = \sqrt{\frac{u - u_n}{u_m - u_n}} = f_k^{0,5}, \quad (15)$$

которое получено на основе теории переноса вихрей Тейлора, не согласуется удовлетворительно с экспериментальными данными, вместо него для плоской струи нужно взять соотношение в следующем виде:

$$\frac{T - T_n}{T_m - T_n} = \left( \frac{u - u_n}{u_m - u_n} \right)^{0,7}, \quad (16)$$

которое лучше согласуется с экспериментальными данными. Как отмечено в работе Л. А. Вулиса [6], показатель степени 0,7 примерно равняется значению числа Прандтля для воздуха, и это позволяет связать между собой скоростные и температурные поля.

На основании экспериментальных данных определения скорости по оси круглой струи и длины ее начального участка найдена следующая формула

$$\frac{u_m - u_n}{u_{om} - u_n} = \frac{1}{\left[ \frac{c(x - x_n)}{R} \right]^{0,2} + 1}, \quad (17)$$

где  $x_n$  — длина начального участка,  $R$  — радиуса сопла,  $u_{om}$  — максимальная скорость по оси струи.

В случае изотермической струи, т. е.  $\Theta = 1$ ,

$$\frac{c}{c_0} = \frac{\lambda + 21,2}{\lambda + 23,8} - 0,05e^{-0,245(\lambda - 3,2)^2} \quad (18)$$

$$\text{и } \frac{c_0 x_n}{R} = \frac{19,1}{\lambda^3 - 14,9\lambda^2 + 84,1\lambda - 70,2} + 0,479, \quad (19)$$

где  $\lambda = \frac{u_{om}}{u_n}$  — отношение максимальной скорости струи  $u_{om}$  к скорости потока  $u_{om}$  и  $c_0$  — константа, определяемая из эксперимента. Константа  $c_0$  связана с известной константой «а», которая приведена в работе Г. Н. Абравовича [1]

$$c_0 = 0,83a = 0,0547. \quad (20)$$

Для неизотермических струй, если  $\Theta = 1,94$  и  $\lambda = \infty$ , то  $c = 0,0723$  и  $\frac{c_0 x_n}{R} = 0,547$ , если  $\Theta = 1,94$  и  $\lambda = 3,93$ , то  $c = 0,0593$  и  $\frac{c_0 x_n}{R} = 0,383$ .

На основании обработки экспериментальных данных получена следующая формула для определения скорости по оси струи основного и переходного участков

$$\frac{u_m - u_n}{u_{om} - u_n} = \frac{1}{\sqrt{c \left( \frac{x}{b_0} - k \right)}}, \quad (22)$$

где коэффициенты «с» и «к» имеют следующие значения:



а) в случае изотермической струи ( $\Theta = 1$ ) в спутном потоке ( $u_n > 0$ )

$$c = 0,0946, \kappa = 1,43$$

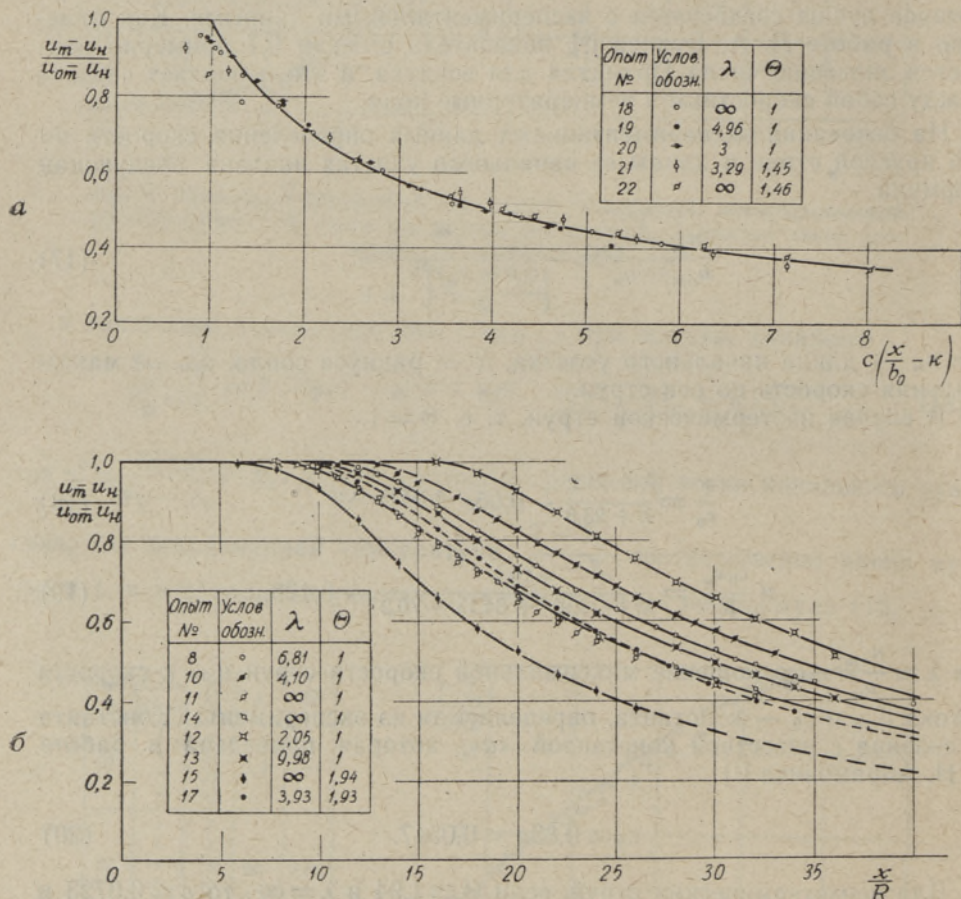
и в неподвижной среде ( $u_n = 0$ )

$$c = 0,104, \kappa = 1,43; \quad (23)$$

б) в случае неизотермической струи при  $\Theta = 1,5$

$$\text{в спутном потоке } c = 0,139, \kappa = 5,71 \quad (24)$$

и в неподвижной среде  $c = 0,156, \kappa = 5,71$ .



Фиг. 7. Сравнение опытных данных по затуханию безразмерной избыточной осевой скорости струи в спутном потоке с расчетом: а — плоская струя, сплошная линия проведена по формуле (22); б — круглая струя, линии проведены по формуле (17) — сплошные при  $\Theta = 1$  и пунктирные при  $\Theta = 2$ .

Как видно из фиг. 7а и 7б, эти формулы хорошо согласуются с экспериментальными данными в пределах изучаемой области для плоской струи до  $\frac{x}{b_0} = 60$  и круглой струи до  $\frac{x}{R} = 40$ .

Для плоской струи в области переходного участка, как видно на фиг. 7а, расхождение для отдельных точек достигает 5%.



## Выводы

1. Подобие профилей безразмерной избыточной скорости  $\frac{u - u_n}{u_m - u_n}$  в разных сечениях струи имеется во всем объеме струи, начиная с расстояния одного диаметра от устья сопла для круглой струи и одной ширины сопла для плоской струи.
2. Подобие профилей безразмерной температуры  $\frac{T - T_n}{T_m - T_n}$  в разных сечениях струи имеется во всем объеме струи, начиная с расстояния одного диаметра от устья сопла для круглой струи и одной ширины для плоской струи.
3. Самым подходящим выражением для описания профиля безразмерной избыточной скорости в переходном и основном участках круглой и плоской струй является полином (7).
4. Для определения профиля безразмерной избыточной скорости в начальном участке изотермической круглой струи можно использовать полином (7), а для неизотермической круглой струи ( $\Theta = 2$ ) формулу (13).
5. Для определения профиля безразмерной избыточной скорости в начальном участке изотермической и неизотермической ( $\Theta = 1,5$ ) плоских струй можно использовать формулу Шлихтинга (13).
6. Профили безразмерной избыточной температуры можно определить в переходном и основном участках круглой и плоской струй по формуле Шлихтинга (12), в начальном участке круглой струи — по полиному (7), а для плоской струи — по формуле Шлихтинга (13).
7. Связь между профилями безразмерной избыточной температуры и скорости в основном и переходном участках струй можно представить в следующем виде:

$$\frac{T - T_n}{T_m - T_n} = \left( \frac{u - u_n}{u_m - u_n} \right)^n,$$

где для плоской струи показатель  $n = 0,7$ , а для круглой струи в спутном потоке  $n = 0,9 \div 1,0$ .

8. Для определения скорости по осям круглой изотермической и неизотермической струй (при  $\Theta = 2$ ), а также длины начального участка изотермической струи предложены формулы (17), (19), которые удовлетворительно описывают все наши экспериментальные данные в пределах изучаемой области  $\frac{x}{R} = 0 \div 40$  и  $\lambda = 2 \div \infty$ .

9. Для определения скорости по осям изотермической и неизотермической плоских струй (при  $\Theta = 1,5$ ) основного и переходного участков получена формула (22), которая хорошо согласуется со всеми нашими экспериментальными данными в промежутке  $\frac{x}{b_0}$  от 10 до 60 м при значениях  $\lambda = 3 \div \infty$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Абрамович, Свободные турбулентные струи жидкостей и газов, Госэнергоиздат, 1948.
2. Г. Н. Абрамович, Турбулентная струя в движущейся среде, Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 6, июнь 1957, стр. 93—101.
3. Г. Н. Абрамович, О турбулентном смешении на границе двух плоскопараллельных потоков жидкости (при спутном и встречном движении). Сб. статей № 19 по теоретической гидромеханике под ред. Л. И. Седова, Оборонгиз, 1956.
4. Г. Н. Абрамович, Турбулентная струя в потоке. Тр. совещ. по прикл. газовой динамике, Алма-Ата, 1956.
5. Г. Н. Абрамович, Теория турбулентных струй, Физматгиз, 1960.
6. Л. А. Вулис, Струйные задачи прикладной газодинамики, В кн. Исследование физических основ рабочего процесса топок и печей, под редакцией Л. А. Вулиса, Изд. АН Каз. ССР, 1957.
7. А. С. Гиневский, Турбулентный след и струя в спутном потоке при наличии продольного градиента давления, Изв. АН ОН, Механика и машиностроение, № 2, 1959.
8. Ю. В. Иванов, Х. Н. Суй, Исследование развития струи в спутном потоке, Изв. АН ЭССР, серия техн. и физ.-мат. наук, т. VII, № 2, 1958.
9. Ю. В. Иванов, Х. Н. Суй, Э. П. Тимма, Турбулентная изотермическая струя в спутном потоке, Инженерно-физический журнал, т. I, № 5, май, 1958.
10. H. Görler, Berechnung von Aufgaben der freien Turbulenz auf Grund eines neuen Näherungsansatzes, Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1926, nr. 6, Bd. 6.
11. H. Schlichting, Ueber das ebene Windschattenproblem, Ing.-Arch., Nr. 5, 1930.
12. H. B. Squire and J. Trowner, Round Jets in a General Stream. Aeronautical Research Committee Reports and Memoranda, No. 1974, January 1944, London (перевод с английского, М., 1947).
13. W. Tollmien, Berechnung turbulenter Ausbreitungsvorgänge, Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1926, Nr. 6, Bd. 6.

Институт энергетики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
14. XII 1961

## UMAR JA LAPIK TURBULENTNE JUGA PÄRIVOOLOUSES

E. Timma

J. Ivanov,

tehnilliste teaduste doktor

Resümee

Käesolevas töös on eksperimentaalselt uuritud mõningaid ümara ja lapiku turbulentse joa arenemise seaduspärasusi liikuvaa samasuunalises keskkonnas parameetrite  $\lambda = \frac{u_{om}}{u_n}$

ja  $\Theta = \frac{T_{om}}{T_n}$  erinevate väärtuste puhul, kus  $u_{om}$  ja  $T_{om}$  on joa maksimaalne kiirus ja absoluutne temperatuur düüsi suudmes ning  $u_n$  ja  $T_n$  vastavalt vooluse keskmine kiirus ja absoluutne temperatuur. Eksperimentaalandmetega on võrreldud mitmete autorite [7, 10, 11, 12, 13] väärtusi suhtelise kiiruse ja suhtelise temperatuuri profiilide määramiseks. Ilmneb, et kiiruse ja temperatuuri profiilid joa erinevates ristlõigetel on sarnased ka joa alg- ja üleminekuosas.

Suhtelise (dimensioonivaba) kiiruse ja temperatuuri profiilide ning joa telgkiiruse määramiseks on esitatud vastavad valemid, mis on rahuldavas kooskõlas eksperimentaalandmetega.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse  
14. XII 1961



## A ROUND AND A SLOT TURBULENT JET IN A CO-STREAM

E. Timma, Y. Ivanov

*Summary*

The authors present the results of their experimental studies of a round and a slot turbulent jet in a co-stream at different parameters values  $\lambda = \frac{u_{om}}{u_h}$  and  $\Theta = \frac{T_{om}}{T_h}$  (where  $u_{om}$ ,  $T_{om}$  are the maximum velocity and temperature at the orifice, respectively and  $u_h$ ,  $T_h$  the mean velocity and the mean temperature of the co-stream, respectively).

A comparison of the experimental data with formulae of other authors [7, 10, 11, 12, 13] gives preference to the quoted works.

Experiments have shown that the profiles of the dimensionless velocity excess and the dimensionless temperature excess at various cross-sections are affine, also in the initial region of the jet.

The recommended computation formulae correspond to the experimental data within the whole investigated range.

*Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,  
Institute of Energetics*

Received  
Dec. 14th, 1962