

ISSN 1563-034X  
Индекс 75877; 25877

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ

# ҚазҰУ ХАБАРШЫСЫ

Физика сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

# ВЕСТНИК КазНУ

Серия физическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

# KazNU BULLETIN

Physics series

№3 (58)

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2016

ISSN 1563-034X  
Индекс 75877; 25877



# ХАБАРШЫ

ФИЗИКА СЕРИЯСЫ №3 (58)



25.11.1999 ж. Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық көлісім министрлігінде тіркелген

Куәлік №956-Ж.

Журнал жылдана 4 рет жарыққа шығады

## ЖАУАПТЫ ХАТИШЫ

Иманбаева А.К. (Қазақстан)  
Телефон: +7(727) 377-33-46  
E-mail: akmaral@physics.kz

## РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Рамазанов Т.С., ал-Фараби атындағы ҚазҰУ –  
ғылыми редактор (Қазақстан)  
Лаврищев О.А., ЭТФЗИ – ғылыми редактордың  
орынбасары (Қазақстан)  
Әбишев М.Е., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Архипов Ю.В., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Аскарова Ә.С., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Буркова Н.А., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Boufendi L., Орлеан к. университетті (Франция)  
Габдуллин М.Т., Ашық түрдегі ұлттық  
нанотехнологиялық зертхана, ал-Фараби ат. ҚазҰУ  
(Қазақстан)

Давлетов А.Е., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Жұмагұлова Қ.Н., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Дробышев А.С., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Жанаабаев З.Ж., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Кукулин В.Л., М.В. Ломоносов ат. ММУ (Ресей)  
Оскомов В.В., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Приходько О.Ю., ал-Фараби ат. ҚазҰУ, ЭТФЗИ  
(Қазақстан)  
Rosenblum M., Потсдам университетінді Физика  
және астрофизика институты (Германия)



## Ғылыми басылымдар болімінің басшысы

Гульмира Шаккозова  
Телефон: +77017242911  
E-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

## Компьютерде беттеген Айғұл Алдашева

Жазылу мен таратуды үйлестіруші  
Молдір Өміртақызы  
Телефон: +7(727)377-34-11  
E-mail: Moldir.Omirtaikyzy@kaznu.kz

## ИБ №10021

Басуға 01.09.2016 жылы кол қойылды.  
Пішімі 60x84 1/4, Көлемі 11.8 б.т. Офсетті кагаз.  
Сандық басылыс. Тапсырыс №3893. Таралымы 500 дана.  
Бағасы көлісімді.  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеттінің  
«Қазақ университетті» баспа үйі.  
050040, Алматы қаласы, ал-Фараби даңғылы, 71.  
«Қазақ университетті» баспа үйінің бастапханасында басылды.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2016

Толеуов Г., Исатаев М.С.,  
Оспанова Ш.С.

**Расчет влияния сопротивления  
трения торцовых пластин  
на затухание плоской струи**

Toleuv G., Isatayev M.S.,  
Ospanova Sh.S.

**Calculation of the influence  
of friction resistance face plate  
attenuation plane jet**

Төлеуов Г., Исатаев М.С.,  
Оспанова Ш.С.

**Жазық ағыншаның өшүіне шеттік  
беттік пластинаның үйкеліс  
кедергісінің әсерін есептеу**

В экспериментальных установках при изучении плоской струи, как правило, для исключения влияния конечности высоты прямоугольного сопла поле течения ограничивается торцовыми пластинаами, установленными параллельно направлению потока, как продолжение торцовых стенок выходного сечения прямоугольного сопла. В работе показаны результаты расчета влияния сопротивления трения торцовых пластин на закономерности развития плоской свободной струи. Построена схема течения струи между торцовыми поверхностями. Проведен расчет сопротивления при турбулентном пограничном слое. Получена расчетная формула, которая описывает изменение максимальной скорости струи в первом приближении. Произведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** плоская струя, схема течения струи, турбулентность, пограничный слой, скорость струи.

In the study of the jet plane the experimental devices, as a rule, to eliminate the influence of the height of the limb of a rectangular nozzle flow field end plate limited. Sets the plates parallel to the direction of flow, as an extension of the outlet section of a rectangular nozzle end walls. The paper shows the results of the calculation of the effect of mechanical friction plates on the laws of development of the jet plane free. Built jet flow pattern between the end surfaces. Spend resistance calculation in the turbulent boundary layer. Calculating formula is obtained which describes the maximum change in velocity of the jet in the first approximation. Comparison of the calculation results with the experimental data.

**Key words:** plane jet, jet flow pattern, turbulence, boundary layer, the jet velocity.

Тәжірибелік кондырығыларда жазық ағыншаны қарастырганда, көбінесе тікбұрышты сопло бійгінің шетінің әсерін ескермеү үшін, ағын ерісін тік койылған дәнбек кесінді пластинамен шектейді. Пластиналарды ағынға параллель орналастырылады, тікбұрышты соплоның шығыс кескінің шетжақты қабыргасының жағасы ретінде. Жұмыста жазық еркін ағыншаның даму заңдылығына шеттік беттік пластинаның үйкеліс кедергісінің әсерін есептеу нәтижелері көрсетілген. Шеттік беттердің арасындағы ағынша ағысының сыйбасы түргізілді. Турбуленттік шекаралық қабат кезіндегі есептеу жүргізілді. Бірінші жұықтауда ағыншаның максималдық жылдамдығының өзгерісін сипаттайтын есептік формула алынды. Есептеу нәтижелерінің эксперименттік берілгендермен салыстырылуы жүргізілді.

**Түйін сөздер:** жазық ағын, ағынша ағысының сыйбасы, турбуленттілік, шекаралық қабат, ағыншаның жылдамдығы.

**РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ  
 СОПРОТИВЛЕНИЯ  
 ТРЕНИЯ ТОРЦОВЫХ  
 ПЛАСТИН  
 НА ЗАТУХАНИЕ  
 ПЛОСКОЙ СТРУИ**

**Введение**

В последние несколько десятилетий подробному исследованию подвергались динамические и пульсационные характеристики свободной трехмерной струи, истекающей из сопла с прямоугольным выходным сечением, на основном и частично на начальном участке течения [1, 2]. В последнее время, также, внимание уделяется развитию вихревой структуры и ее влиянию на развитие турбулентных и осредненных характеристик течения на начальном, переходном и основном участках свободного струйного течения.

В экспериментальных установках при изучении плоской струи, как правило, для исключения влияния конечности высоты прямоугольного сопла поле течения ограничивается торцовыми пластинами, установленными параллельно направлению потока, как продолжение торцовых стенок выходного сечения прямоугольного сопла. Здесь, как мы видим, в силу влияния торцовых стенок, вместо трехмерной струи получаем плоскую струю, ограниченную этими боковыми стенками.

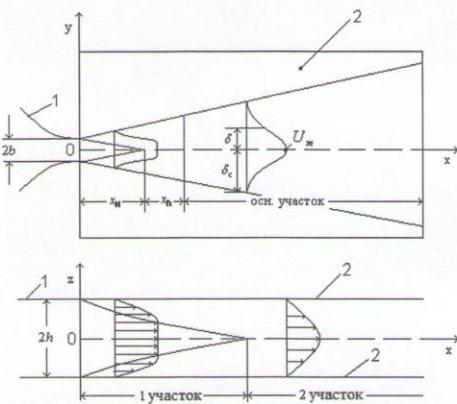
Можно сказать, что полученные новые экспериментальные и теоретические данные дают широкую информацию о влиянии торцовых стенок и крупномасштабных когерентных вихрей на развитие турбулентных струй, истекающих из прямоугольного сопла. Например, в работе [3] экспериментально исследовано влияние сопротивления трения торцовых пластин на закономерности плоской свободной струи. В последнее время для исследования когерентных структур течения пристенных струй также уделяется большое внимание [4]. Это направление является важным объектом для исследования. Также важно продолжение исследований динамических характеристик течения. В данной работе, как продолжение экспериментальных исследований, показанных в работе [3] проведен теоретический расчет влияния сопротивления трения торцовых пластин на закономерности развития плоской свободной струи.

**Расчет влияния сопротивления на торцовых стенках**

Для построения расчета влияния сопротивления торцовых стенок на затухание плоской струи, рассмотрим следующую схему течения струи между торцовыми поверхностями. На рисунке 1 показаны схемы струйного течения, ограниченного торцовыми плоскими стенками, в плоскости  $xoy$  и  $xoz$ .

В плоскости  $xoy$  струя, как и в обычной свободной струе, имеет начальный (индекс «н»), переходной (индекс «п») и основной участки и боковые свободные границы смешения, ширина сопла в направлении оси  $oy$  равна  $2b$ . В плоскости  $xoz$  струя, истекающая из сопла высотой  $2h$  с боков в направлении оси  $oz$  ограничена торцевыми пластинами. В первой части

струи после выхода из сопла вдоль торцевых стенок развиваются ламинарный, либо турбулентный пограничный слои с равномерным профилем по оси  $z$  между границами пограничных слоев. Развитие этих пограничных слоев аналогично пограничному слою при обтекании пластины однородным потоком.



1 – сопло; 2 – торцевые пластины.  $x, y, z$  – прямоугольные декартовы координаты;  
 $\delta$  – текущее значение толщины пограничного слоя;  $\delta_c$  – толщина пограничного слоя свободной струи  
в направлении оси  $y$ .  $U_m$  – скорость на оси струи

Рисунок 1 – Схема плоской струи, ограниченной торцевыми стенками

В конце 1-участка пограничные слои смыкаются на оси струи и начинается 2-участок струи, в котором в плоскости  $xoz$  течение аналогично течению потока в плоском канале. Соответственно развитие пограничного слоя и течение на 1-участке аналогично обтеканию пластины однородным потоком, во 2-участке – аналогично течению в плоском канале.

Геометрический параметр  $\lambda = 2h/2b$  характеризует относительное удлинение выходного сечения сопла.

В силу сказанного на 1-участке струи примем изменение толщины пограничного слоя по  $z$  на торцевых пластинах в виде зависимостей:

$$\delta_z = \frac{5,0 \cdot x}{\sqrt{\frac{U_m x}{v}}} \quad (1)$$

– для ламинарного и

$$\delta_z = \frac{0,37x}{\left(\frac{U_m x}{v}\right)^{1/5}} \quad (2)$$

– для турбулентного пограничного слоя. Здесь  $x$  – продольная координата,  $U_m$  – скорость на оси струи,  $v$  – кинематическая вязкость,  $\frac{U_m x}{v}$  – принимаем как число Рейнольдса

$Re_{mx} = \frac{U_m x}{v}$ . Протяженность первого участка определяется из условия  $x = x_1$  при  $\delta_z = h$ . Соответственно для определения сопротивления стенок можно использовать формулы (1) или (2). Из работы [3]:

$$C_f = \frac{0,664}{\sqrt{\text{Re}_{mx}}} \text{ или } C_f = \frac{0,0576}{\left(\frac{U_m x}{v}\right)^{0,2}}.$$

После смыкания пограничных слоев для второго участка течения применим закон сопротивления в плоском канале с коэффициентом гидравлического сопротивления  $\xi$  для ламинарного течения:

$$\xi = \frac{16}{\text{Re}}, \text{ где } \text{Re} = \frac{U_m 2h}{v}, \quad (3)$$

для турбулентного течения:

$$\xi = \frac{0,3164}{\text{Re}^{\frac{1}{4}}}, \text{ Re} = \frac{U_m d_r}{v}, \quad (4)$$

где  $d_r = \frac{4F}{g}$  – гидравлический диаметр, определяемый как отношение учетверенной площади сечения канала  $F$  к его периметру  $g$ .

Ниже приводим приближенный расчет изменения полного импульса струи под действием сопротивления торцевых стенок для обоих рассматриваемых участков при турбулентном режиме течения струи.

#### Расчет сопротивления при турбулентном пограничном слое

При наличии сопротивления торцевых стенок полный импульс струи не сохраняется и уменьшается по длине струи:

$$\frac{dK}{dx} = -2 \int_{-\delta_c}^{\delta_c} \tau_w dy, \quad (5)$$

где  $K$  – полный импульс потока в произвольном сечении струи,  $\tau_w$  – напряжение трения на стенке на расстоянии  $y$  от плоскости симметрии,  $\delta_c$  – полная полуширина струи, равная расстоянию от оси до внешней границы при  $U=0$  и связанная с условной шириной  $\delta_c=2,59\delta$ , для чисел

Как показано на рисунке 1, напервом участке струйного течения между торцевыми пластинами имеются пограничные слои на торцевых стенках толщиной  $\delta_z$  и центральный участок с постоянной скоростью  $U_m$  в сечении  $y=0$ . Предположим, что ширина струи в направлении оси  $y$  не изменяется по оси  $z$  и равно  $\delta_c$ . Распределение скорости по сечению будем принимать в виде полинома (предложенным Г. Шлихтингом), в котором  $U_m$  в центральной части по оси  $z$  не изменяется. В пристенной области изменение скорости примем в виде степенной зависимости

$$\frac{U}{U_1} = \left(1 - \frac{z}{\delta_z}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad (6)$$

где

$$\frac{U_1}{U_m} = 1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4. \quad (7)$$

Здесь  $U$  – продольное составляющее скорости,  $U_1$  – скорость на границе пристенного пограничного слоя на расстоянии  $\delta_z$  от стенки при соответствующих расстояниях  $\eta = \frac{y}{\delta_c}$  от

плоскости  $zox$  в данном сечении ( $\delta_c$  – полная полуширина струи, равная расстоянию от оси до внешней границы при  $U=0$  и связанная с условной шириной  $\delta_c=2,59\delta$ ), для чисел

$$\text{Re} = \frac{U_m 2h}{v} < 10^5, n=7 \text{ и } \langle U \rangle = 0,817 U_m.$$

Подставляя (7) в (6) получим распределение скорости в пристенном пограничном слое

$$\frac{U}{U_m} = \left(1 - \frac{z}{\delta_z}\right)^{\frac{1}{7}} \left(1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4\right). \quad (8)$$

Тогда полный импульс струи в сечении, отстоящем от сопла на расстоянии  $x$ , будет равен:

$$K = \int \rho U^2 dy dz = 4 \int_0^{\delta_z} \int_0^{\delta_c} \rho U^2 dy dz + 2(h - \delta_z) \int_0^{\delta_c} \rho U^2 dy, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости (газа).

С учетом (7) и (8):

$$K = 4\rho U_m^2 \delta_z \delta_c \int_0^1 \left(1 - \frac{z}{\delta_z}\right)^{\frac{2}{7}} d\left(\frac{z}{\delta_z}\right) \int_0^1 (1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4)^2 d\eta + \\ + 2(h - \delta_z) \rho U_m^2 \int_0^1 (1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4) d\eta. \quad (10)$$

Вычислив интегралы, после преобразования получим:

$$K = \rho U_m^2 \delta_c \left( \frac{20}{63} \delta_z + \frac{4}{7} h \right). \quad (11)$$

Как показано измерениями [3], распределения напряжения трения на торцовых стенках в координатах  $\frac{\tau}{\tau_w} = f\left(\frac{y}{\delta}\right)$  подобно профилю скорости в основном участке и суммарное напряжение трения, действующее на участке размерами  $4\delta_c dx$  на обоих торцовых стенках будет равно:

$$2 \int_{-\delta_c}^{\delta_c} \tau_w dy dx = 4\tau_{wm} \delta_c dx \int_0^1 (1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4) d\eta = 4,15 \delta_c \tau_{wm} dx, \quad (12)$$

где  $\tau_w$  – напряжение трения на стенке на расстоянии  $y$  от плоскости симметрии,  $\tau_{wm}$  – максимальное напряжение трения на стенке при  $y=0$ .

Подставляя значения  $\delta_c, \delta, \delta_z, K, \tau_{wm}$  в (5), получим:

$$\frac{d}{d\left(\frac{x}{b}\right)} \left\{ 0,0280 \rho U_0^2 b \frac{\left(\frac{U_m}{U_0} x\right)^{1,8}}{\text{Re}_0^{0,2}} + 0,136 \rho U_0^2 b \frac{h}{b} \frac{x}{b} \left(\frac{U_m}{U_0}\right)^2 \right\} = \\ = -0,0110 \frac{b \rho U_0^2}{\text{Re}_0^{0,2}} \left(\frac{U_m}{U_0}\right)^{1,8} \left(\frac{x}{b}\right)^{0,8}, \quad (13)$$

где  $\text{Re}_0 = \frac{U_0 2b}{\nu}$ . Здесь  $U_0$  – начальная скорость истечения.

Взяв производную по  $x$  слева и преобразовав, получим:

$$\frac{d\left(\frac{U_m}{U_0}\right)}{\frac{U_m}{U_0}} = - \frac{1}{2} \left[ \frac{d\left(\frac{x}{b}\right)}{\frac{x}{b}} + \frac{0,4517}{\lambda \text{Re}_0^{0,2}} \frac{d\left(\frac{x}{b}\right)}{\left(\frac{U_m}{U_0} x\right)^{0,2}} \right]. \\ 1 + \frac{0,1854}{\lambda \text{Re}_0^{0,2}} \frac{\left(\frac{x}{b}\right)^{0,8}}{\left(\frac{U_m}{U_0}\right)^{0,2}}. \quad (14)$$

Учитывая, что в знаменателе (14) второй член на порядок меньше единицы переведем их в числитель по методу разложения в ряд величины  $\frac{1}{1+x} \approx 1 - x + x^2 - x^3 + \dots$  с сохранением первых четырех членов ряда. В нулевом приближении подставим в правую сторону

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{N}{\sqrt{\frac{x+x_0}{b}}} \exp \left\{ -\frac{0,1481}{A} \left( \frac{x}{b} \right)^{0.9} + \frac{0,01372}{A^2} \left( \frac{x}{b} \right)^{1.8} - \frac{0,00288}{A^3} \left( \frac{x}{b} \right)^{0.27} \right\}, \quad (15)$$

$$\text{где } A = \lambda \operatorname{Re}_0^{0.2} N^{0.2}, \quad \lambda = \frac{2h}{2b}, \quad \operatorname{Re}_0 = \frac{U_0 2b}{\nu}$$

$x_0$  – полносное расстояние. Расчеты по этой формуле показывает, что к концу 1-участка поправка на уменьшение скорости составляет до 35 %.

Однако длина 1-участка с ростом  $\lambda$  резко возрастает (рисунок 2) и при  $\lambda > 10$  на расстояниях до  $\frac{x}{b} < 200$  влияние сопротивления не превышает 10%.

Сравнение результатов расчета по формуле (15) с экспериментальными данными [3] приведено на рисунке 3 при  $\lambda = 3$  и  $U_0 = 4,3$  м/с.

При этом следует учесть, что на рисунке 3 значение измеренной максимальной скорости соответствует осевой линии струи. В теоретических расчетах вычислены значения максимальной скорости, осредненные по оси  $z$  по всей высоте струи. Поэтому экспериментальные

уравнения (14) значение  $\frac{U_m}{U_0} = \frac{N}{\sqrt{\frac{x}{b}}}$ , и проинтегрируем уравнение в пределах по  $x$  от конца начального участка  $x_n$  до произвольного расстояния  $x$ . В результате получим решение для изменения максимальной скорости в первом приближении:

значения максимальной скорости должны быть несколько выше теоретически вычисленных значений.

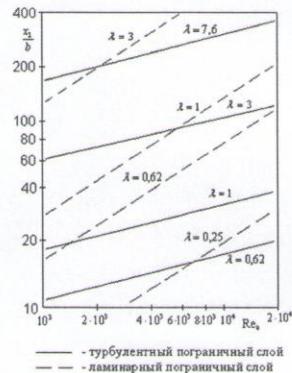


Рисунок 2 – Зависимость длины 1-го участка струи с торцовыми пластинами от  $\lambda$  и  $\operatorname{Re}_0$

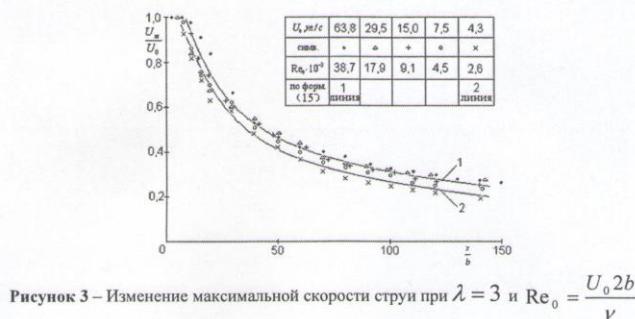


Рисунок 3 – Изменение максимальной скорости струи при  $\lambda = 3$  и  $\operatorname{Re}_0 = \frac{U_0 2b}{\nu}$

На рисунке 4 приведены значения уровня турбулентности вдоль оси струи, отнесенные к максимальной скорости для  $\lambda = 3$ . Видно, что для всех значений скорости  $U_0$  от 4,3 м/с до 30 м/с уровни турбулентности изменяются так же, как и для струи при  $\lambda > 3$ .

$$\begin{aligned} K &= 4 \int_0^{h/\delta_c} \rho U^2 dy dz = 4 \rho U_m^2 \delta_c h \int_0^1 \int_0^1 \left( \frac{U}{U_m} \right)^2 d\left(\frac{y}{\delta_c}\right) d\left(\frac{z}{h}\right) = \\ &= 4 \rho U_m^2 \delta_c h \int_0^1 \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{\frac{2}{7}} d\left(\frac{z}{h}\right) \int_0^1 (1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4)^2 d\eta = \frac{8}{9} \rho U_m^2 \delta_c h . \end{aligned} \quad (16)$$

Сила сопротивления торцевых стенок на участке размером  $4\delta_c dx$  определяется так же формулой (12). Подставляя их в (5) имеем:

$$\frac{d}{dx} \left[ \frac{8}{9} \rho U_m^2 \delta_c h \right] = -4,15 \tau_w \delta . \quad (17)$$

Подставляя значения:

$$\delta = 0,092x, \delta_c = 0,238x, \tau_w = \frac{0,3164}{\left( \frac{\langle U \rangle 4h}{\nu} \right)^{\frac{1}{4}}} \frac{\rho \langle U^2 \rangle}{8} = \frac{0,01963}{\left( \frac{U_m b}{\nu} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{h}{b} \right)^{\frac{1}{4}}} \cdot \rho U_m^2$$

в (17), после преобразования получим:

$$\int_{U_m/U_0}^{\frac{U_m}{U_0}} \frac{d\left(\frac{U_m}{U_0}\right)}{\frac{U_m}{U_0}} = - \int_{\frac{x_1}{b}}^{\frac{x}{b}} \left[ \frac{1}{2} + \frac{0,01771 \frac{x}{b}}{\left( \frac{h}{b} \right)^{1,25} \text{Re}_0^{0,25} \left( \frac{U_m}{U_0} \right)^{0,25}} \right] d\left(\frac{x}{b}\right) . \quad (18)$$

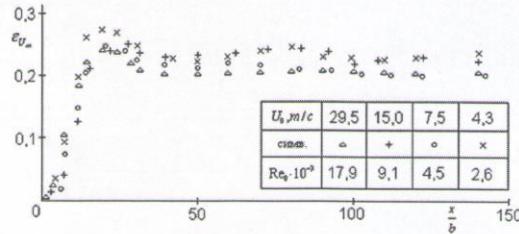


Рисунок 4 – Уровень турбулентности вдоль оси струи, отнесенные к максимальной скорости для  $\lambda = 3$  и  $Re_0 = \frac{U_0 2b}{\nu}$

В нулевом приближении принимая

$$\frac{U_m}{U_0} = \sqrt{\frac{x}{b}} \quad (19)$$

и подставив его в правую часть (18) получим решение в первом приближении.

Интегрирование по  $x$  должны проводить от конца первого участка и далее. При этом значение скорости  $\frac{U_{m1}}{U_0}$  должно определяться по формуле (15) при значении  $x = x_l$ . Тогда после интегрирования получим:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{U_{m1}}{U_0} \sqrt{\frac{\frac{x_1 + x_0}{b} + \frac{b}{b}}{\frac{x + x_0}{b} + \frac{b}{b}}} \exp\left[-\frac{0,01575 \left(\frac{x}{b}\right)^{1,125} - \left(\frac{x_1}{b}\right)^{1,125}}{\left(\frac{h}{b}\right)^{1,25} (\text{Re}_0 N)^{0,25}}\right]. \quad (20)$$

Эту формулу необходимо использовать при значениях параметра  $\lambda \leq 3$ , т.к. для значений  $\lambda > 3$  значение  $\frac{x_1}{b} \geq 100$  и доходит при  $\lambda=25$  и

$U_0 = 30 \text{ m/c}$  до  $\frac{x_1}{b} = 850$ , что находится за пределами области измерений и применения струйных течений.

#### Литература

- 1 Abramovich G.N., Girshovich T.A., Krasheninnikov S.I., Sekundov A.N., Smirnova I.P. *The Theory of Turbulent Jets*.– The MIT Press: Cambridge, Massachusetts, 1984. 684 p.
- 2 Faghani E., Maddahian R., Faghani P., and Farhanian B. Numerical investigation of turbulent free jet flows issuing from rectangular nozzles: the influence of small aspect ratio // *Achiv. Appl. Mech.* – 2010. – Vol. 80, No. 7. – P.727-745.
- 3 Isataev S., Toleuov G., Isataev M., Ospanova Sh. And Bolysbekova Sh. Impact of frictional resistance of end plates on free jet attenuation // *Journal of engineering and applied Sciences*. – 2015. – Vol.10. – P.76-79.
- 4 Lhendup Namgyal and Joseph W. Hall. Coherent streamwise vortex structures in the near-field of the three-dimensional wall jet // *J. Fluid. Eng.* – 2013.– Vol. 135, No. 6. – P.120–126.

#### References

- 1 G.N. Abramovich, T.A. Girshovich, S.I. Krasheninnikov, A.N. Sekundov, Smirnova I.P. *The Theory of Turbulent Jets*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp 684, (1984).
- 2 E. Faghani, R. Maddahian, P. Faghani, and B. Farhanian, *Achiv. Appl. Mech.*, 8(7), 727-745, (2010).
- 3 S. Isataev, G. Toleuov, M. Isataev, Sh. Ospanova and Sh. Bolysbekova, *Journal of engineering and applied Sciences*, 10, 76-79, (2015).
- 4 Lhendup Namgyal and Joseph W. Hall, *J. Fluid. Eng.*, 135(6), 120-126, (2013).

---

## МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

### 1-бөлім Раздел 1 Плазма физикасы Физика плазмы

Молдабеков Ж.А., Рамазанов Т.С., Габдулин А.Ж.	
Структурные свойства заряженных пылевых частиц с дипольными моментами .....	4
Молдабеков Ж.А., Рамазанов Т.С., Габдулин А.Ж.	
Продольные колебания в системе заряженных частиц с дипольным моментом .....	10

### 2-бөлім Раздел 2 Жылу физикасы және Теплофизика и теориялық жылу техникасы теоретическая теплотехника

Аскарова Ә.С., Бөлекенова С.Ә., Максимов В.Ю., Усербаев Б.Ж., Нахипова Ф.	
БКЗ-420 казандығының жану камерасындағы физика-химиялық процестерді математикалық модельдеу.....	20
Аскарова А.А., Болекенова С.А., Оспанова Ш.С., Зинеев А.Х.	
Компьютерное моделирование влияния скорости впрыска на процесс горения жидкого топлива различного вида при высоких давлениях .....	26
Дробышев А.С., Соколов Д.Ю., Абдуллаева Ф.А., Кантаева М.Н., Дүйсебаев Т.С.	
Коэффициенты преломления тонких пленок криовакуумных конденсаторов метана.....	34
Толеубов Г., Исаатеев М.С., Оспанова Ш.С.	
Расчет влияния сопротивления трения торцевых пластин на затухание плоской струи.....	42

### 3-бөлім Раздел 3 Ядро және элементар Физика ядра и бошектер физикасы элементарных частиц

Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е.С., Насурла М., Шакиров А.К., Паттаев А.	
Измерение дифференциальных сечений упротого рассеяния протонов ядрами $^{14}\text{N}$ при $E_{\text{p}, \text{lab}} = 0.7 - 1.1$ МэВ .....	52
Панова Е.Н., Буленова К.Ж., Блынский П.А., Кенжина И.Е.	
Исследование ионообменных свойств природного клиноптиолита в качестве сорбента Cs-137.....	58
Әбілдаев Э.Х., Смадиева П.А., Шинбулатов С.К.	
Жұқа полимер кабықшалардың ішкі құрылымын альфа-спектрометриялық зерттеу .....	66
Мамыкенов Д.Т., Теміралиев Т.	
Энергиялары 22,4 Гэ/с және 32 Гэ/с -тагы серпімсіз антипротон-протондық әрекеттесулеріндегі ұжымдық айнымаларды зерттеу .....	72

### 4-бөлім Раздел 4 Бейсизық физика және электроника. Нелинейная физика и электроника. Астрофизика Астрофизика

Темирбаев А.А., Иманбаева А.К., Карibaев Б.А., Намазбаев Т.А., Катурнова С.Т., Тлеубаева И.С.	
Исследование планарных фрактальных антенн.....	80
Дауменов Т.Д., Хизирова М.А., Бисариеva Ж.Б.	
Электростатическая фокусировка для объемных резонаторов .....	94
Наурзбаева А.Ж., Касымханова Г.С., Конысбаев Т.К.	
Нелинейный анализ пространственного распределения галактик .....	100
Қантай Г.Ғ., Кенжина И.Е., Чебакова Е.А., Борецкий О.М.	
Исследование пространственного распределения солнечных космических лучей.....	106