

ней основными параметрами вариационной пульсометрии: M_o – мода, AM_o – амплитуда

моды, $MxDMn$ – вариационный размах (Difference between Maximal and Minimal value).

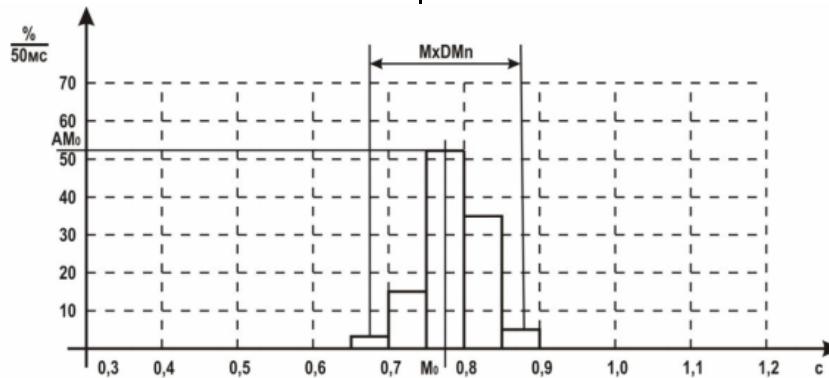


Рисунок 3. Гистограмма распределения кардиоинтервалов

Мода (M_o) – наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряде значение кардиоинтервала. В физиологическом смысле, это наиболее вероятный уровень функционирования сердечно-сосудистой системы. При нормальном распределении и высокой стационарности исследуемого процесса M_o мало отличается от математического ожидания.

Методы анализа вариабельности сердечного ритма могут использоваться для оценки состояния человека в различных условиях трудовой деятельности, физической нагрузки, уровня стресса и т.д.

Видеокomпьютерная система. В психофизиологии наибольший интерес представляют три категории глазных реакций: сужение и расширение зрачка, мигание и глазные движения. Основной принцип работы системы определения функционального состояния, основанной на анализе морганий, – построение графиков движения век, а также изменения направления взгляда и их последующий анализ. Как показывают многочисленные исследования, характер движения век и характер перевода взгляда на другой объект существенно зависят от текущего функционального состояния человека. Этот факт и позволяет использовать информацию о морганиях для диагностики функционального состояния обучаемого. Кроме этого, система может дополнительно анализировать информацию, получаемую от различных органов управления.

Технология VibrImage относится к области биометрии и может быть использована для преобразования, получения, обработки и анализа электронных изображений живых биологических объектов, совершающих периоди-

ческие колебательные перемещения различной частоты и амплитуды. Полученное при обработке изображение, может быть использовано для получения информации о физиологическом или психофизическом состоянии человека.

Ввод изображения объекта осуществляется с любого источника видео, например, цифровой телевизионной камеры, а программное обеспечение обрабатывает полученную информацию и предоставляет интерфейс для сохранения полученных результатов.

Система позволяет визуально оценивать интегральное психофизиологическое состояние человека с помощью ауры, которая программно строится на основании полученного виброизображения.

Анализ клавиатурного почерка. В исследованиях по биометрии ряда ученых (А. И. Иванов, В. Ф. Гузик, А. И. Суздальцева) показано, что каждый человек имеет свой клавиатурный почерк, являющийся проявлением работы вегетативной нервной системы (подсознательными движениями человека), его изменение отражает развитие торможения моторных функций человека. Использование клавиатурного почерка для определения психофизического состояния по изменению торможения моторных функций позволяет определять не только динамику состояния человека, но дает возможность избавиться от применения дополнительных специализированных устройств, что значительно снижает затраты на разработку и внедрение таких систем.

Для математической обработки данных, полученных в результате экспериментов с биологическими объектами, используется аппарат искусственных нейронных сетей. Параметрами

для анализа клавиатурного почерка являются следующие:

- скорость (или частота) ввода символов. Для обработки берутся временные интервалы, затраченные на ввод отдельных букв.

При накоплении достаточного для расчета количества статистических испытаний получается множество временных интервалов, потраченных на ввод каждого символа. На основе полученных значений рассчитывается среднее время ввода отдельно взятого символа (математическое ожидание и отклонение от среднего (дисперсия)). Эта матрица значений символ/математическое ожидание/дисперсия можно принять как эталон для конкретного пользователя;

- разность между соседними временными интервалами, длящимися между отдельными нажатиями. По разностям находится дополнительная дифференциальная характеристика, производная по времени, показывающая изменение скорости набора. Она также индивидуальна.

Смешанная модель учитывает как дифференциальную характеристику, так и рассматривает предысторию.

При использовании выбранного метода точками измерения состояния обучаемого являются интервалы нажатий на клавиши и время удержания между нажатиями. Для измерений выбирается определенная последовательность, которую обучаемому необходимо периодически набирать. Максимальная работоспособность приравнивается к наилучшему состоянию оператора, это состояние является эталоном и оценивается в сто процентов работоспособности.

Минимальная работоспособность оценивается в ноль процентов. На основании полученной информации происходит определение психофизического состояния обучаемого и в дальнейшем формирование управляющего воздействия.

Динамика изменения моторных функций обучаемого определяется по отклонению от эталонного значения, характеризующего его наилучшее психофизическое состояние. По степени отклонения текущего состояния обучаемого принимается решение о целесообразности дальнейшего процесса обучения.

Использование стандартного средства ввода данных (клавиатуры) для определения психофизического состояния обучаемых делает данный метод наиболее предпочтительным. Информа-

ция о клавиатурном почерке может использоваться для идентификации пользователя, что также является актуальной задачей в задачах идентификации пользователей в обучающей системе.

Определение уровня стресса. Для контроля функционального состояния может использоваться методика определения уровня стресса в течение сеанса обучения [12]. Прибор-детектор эмоционального состояния BrainSensor v.1.0. позволяет регистрировать возбужденное состояние, повышенное волнение, стрессовое состояние. Работает бесконтактно при температуре окружающей среды от -30 до +50. Радиус действия прибора на открытых пространствах до 30 м. Представляет собой небольшое устройство размера карманного брелока, изготовленное в соответствии с ГОСТ 12646-67, содержащее 3-х компонентный светодиод, управляемый электронной схемой. Действие прибора основано на специальном низкочастотном шумовом эффекте с подавлением собственного шума, при этом применена цифровая микропроцессорная обработка сигнала, позволяющая отстраиваться от влияния промышленных помех и резких перепадов температуры окружающей среды.

Визуализация детектируемого состояния осуществляется с помощью многоцветного (RGB) светодиода, меняющего свой цвет в процессе работы прибора. Если палитра свечения светодиода находится в пределах от зеленого до желтого, это означает спокойное и благоприятное состояние, т.е. «внешне ничего не происходит». В пределах нормы также считается свечение оранжевым или кратковременно оранжево-красным. Если свечение красным продолжается более 3 сек или красный (оранжево-красный) загорается 3 раза подряд за короткое время, это означает, что велика вероятность того, что поблизости от прибора находится человек с измененным психическим состоянием сознания.

Выводы. На успешность обучения влияют множество параметров. Для измерения психофизиологических характеристик применяются тестирующие методики. Главным недостатком подобного подхода является необходимость проведения тестирования перед сеансом и во время сеанса обучения, что не всегда положительно сказывается на учебно-познавательной деятельности.

Одним из способов уйти от данной проблемы

для определения статических характеристик видится в изучении предпочтений студентов относительно формы и способов представления учебного материала. Для динамических характеристик наиболее перспективны методы, которые можно использовать в условиях аудиторной работы и без применения электродов или другой специальной техники.

Наиболее естественным устройством ввода информации оператора является клавиатура.

Использование клавиатурного почерка позволяет оперативно отслеживать состояние обучаемого, что значительно снижает затраты на разработку и внедрение таких систем в интеллектуальную компьютерную обучающую систему.

В дальнейших исследованиях необходимо создать многофакторную модель, способную прогнозировать деятельность студента в обучающей системе.

Литература

1. Тулова С. А. Структура Модели Обучаемого в Автоматизированной Обучающей Системе //Компьютерные технологии в управлении, диагностике и образовании (КТУДО-2002) //Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Тверь, Тверской Государственный Технический Университет. – 2002. С. 72-75.
2. Lavrov E., Barchenko N., Pasko N. Conception of Neural-Functional networks for Human-Machine Interaction modeling// Materials International Scientific Conference "UNITECH '07" is organized by the Technical University of Gabrovo under the motto, 23-24 November 2007, Gabrovo, Bulgaria. - Gabrovo: University Publishing House "V.APRILOV", 2007. – Т. 3. - Р.р 183-185
3. Филатова Н.Н., Архемчик О.Л. Разработка и исследование программно-методического комплекса для построения ПФК модели обучаемого // Educational Technology & Society 7(1) 2004. ISSN 1436-4522, pp. 182-197
4. Зайнутдинова Л.Х. Создание и применение электронных учебников: Монография. Астрахань: ЦНТЭП, 1999. – 364 с.
5. Кулагин Б. В. Основы профессиональной диагностики. – Л.: Медицина. Ленинградское отделение, 1984. – 216 с.
6. Е. Ильин. Дифференциальная психофизиология. – СПб.: Питер, 2001. – 464 с.
7. Практикум по общей экспериментальной и прикладной психологии. Под ред. Крылова А. А, Маничева С. А.— СПб.: Питер, 2003. – 560 с.
8. Блейхер В. М., Бурлачек Л. Ф. Психологическая диагностика интеллекта и личности. – Киев: Вища школа, 1978. С. – 142 с.
9. Юрков Н. К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы: моногр./ Н.К.Юрков – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.
10. Суздальцев А.И., Лобанова В.А., Абашин В.Г. Определение психофизиологического состояния оперативного персонала по клавиатурному почерку на нефтеперерабатывающих мини-заводах //Электронный журнал «Нефтегазовое дело», 2006.
http://www.oqbus.ru/authors/Suzdaltsev/Suzdaltsev_1.pdf
11. Буров А.Ю. Оценка функционального состояния операторов по показателям умственной работоспособности // Физиология человека -1986. -Т. 12. -№2. - С.281-288.
12. Прибор-детектор эмоционального состояния BrainSensor. <http://www.agpl.ru/project-bt/shop/21-brainsensor-1.html>

Метою даної роботи є огляд методів вимірювання параметрів студента, що впливають на вибір форми подання матеріалу. Для вимірювання психофізіологічних характеристик застосовуються тестуючі методики і спеціальні апаратні системи. У статті розглянуті існуючі підходи і зроблений висновок про перспективність застосування опитування про переваги і спостереження

The purpose of this paper is to review the methods of measurement of the student, influence the choice of the presentation material. To measure the characteristics of applied psychophysiological testing techniques, and special hardware systems. The article deals with the existing approaches and concluded that the prospects of a survey on the preferences of a keyboard and monitor underscores.

УДК 532. 526

А.М.Павлюченко, д.т.н., професор, Сумської НАУ

ПРОФИЛИ СКОРОСТИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НА ПОРИСТОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВДУВА ВОЗДУХА И НЕИЗОТЕРМИЧНОСТИ, СОЗДАВАЕМОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА НА ОБТЕКАЕМУЮ ПЛАСТИНУ

Реализован метод формирования неизотермичности в турбулентном пограничном слое обтекаемой плоской поверхности в сверхзвуковой аэродинамической трубе с использованием теплового излучения CO₂-лазера. Измерены профили скорости на пористой пластине при наличии вдува воздуха и неизотермичности. Применение излучения CO₂-лазера в аэрофизическом эксперименте открывает возможности исследования тепловой защиты поверхности путем пористого вдува газов и на аблирующих поверхностях, исследования теплообмена конвекцией и излучением при вдуве через пористую поверхность оптически активных газов (CO₂, SF₆ и др.).

1. Постановка проблемы в общем виде.

Вопросы управления характеристиками сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев, формирующихся в камерах сгорания и соплах ракетных двигателей, на лопатках газовых турбин и др., путем вдува воздуха и других газов через пористые поверхности являются актуальными для решения задачи их тепловой защиты и снижения сопротивления трения [1, 2, 3]. Особенно эффективным с этой точки зрения является вдув газов с малой молекулярной массой через пористую обтекаемую поверхность, как показали экспериментальные и теоретические исследования [1]. В реальных условиях пристеночные турбулентные пограничные слои являются неизотермическими, что обусловлено разностью температур между обтекаемой поверхностью и набегающим газовым потоком.

Таким образом, важной задачей является моделирование в сверхзвуковой аэродинамической трубе совместного воздействия на характеристики сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев на пористой поверхности вдува воздуха через обтекаемую пористую пластину и неизотермичности. Одной из наиболее важных характеристик турбулентных пограничных слоев является профиль скорости по их высоте. При этом актуальным является вопрос о моделировании неизотермичности в

пограничном слое при наличии вдува воздуха через пористую поверхность в сверхзвуковой аэродинамической трубе.

2. Анализ последних исследований и публикаций.

К настоящему времени проведены фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования влияния вдува газов через обтекаемые пористые поверхности на теплообмен и сопротивление трения в дозвуковых и сверхзвуковых турбулентных пограничных слоях [1, 4, 5] и показана эффективность этого метода тепловой защиты поверхности и снижения сопротивления трения. В [1] установлен эффект отнесения турбулентного пограничного слоя на пористой поверхности, в результате чего коэффициент сопротивления трения резко уменьшился практически до нуля в сравнении со случаем отсутствия вдува газов. Для условий отнесения турбулентного пограничного слоя при воздействии пористого вдува в [1] введено понятие критического параметра вдува газов

$$k_p = \frac{(\rho_w)_{kp}}{\rho_\infty \cdot f_0/2}$$

где ρ_w , w - соответственно плотность и скорость вдуваемого газа,

ρ_∞ , ∞ - соответственно плотность и скорость набегающего потока,

$C_{f0/2}$ - локальный коэффициент трения [1].

Для квазиизотермических условий обтекания пористой поверхности дозвуковым турбулентным потоком при вдуве воздуха $b_{кр} \cong 4,0$. В [1] приведены формулы для критического параметра вдува с учетом влияния неизотермичности, числа Рейнольдса потока и сжимаемости турбулентного потока, что позволяет рассчитать по соотношениям асимптотической теории турбулентного пограничного слоя коэффициент теплоотдачи в виде безразмерного числа Стантона St и локальный коэффициент сопротивления трения $C_{f/2}$. Результаты расчетов этих характеристик по теории [1] хорошо согласуются с опытными данными для плоских дозвуковых и сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев при наличии вдува газов и неизотермичности.

Неизотермичность в пограничном слое при наличии вдува создается либо в условиях обтекания поверхности турбулентным потоком при $T_w > T_\infty$ (T_∞ - температура набегающего потока, T_w - температура пористой стенки), либо при вдуве относительно горячего газа в относительно холодный пограничный слой при $T_w > T_\infty$. В последнем случае представляет интерес использование инфракрасных источников теплового излучения. Например, при исследовании теплообмена в дозвуковом турбулентном пограничном слое воздуха на пористой поверхности при вдуве газа CO_2 в воздух использовался источник инфракрасного излучения в виде стержня из SiC [6,7].

Актуальной задачей является измерение в сверхзвуковой аэродинамической трубе профиля скорости в турбулентном пограничном слое на пористой поверхности при вдуве через нее воздуха в условиях неизотермичности для $T_w > T_\infty$, формируемой при воздействии на пористую пластину теплового потока, создаваемого инфракрасным источником теплового излучения.

3. Формулирование целей статьи (постановка задачи).

При исследовании на моделях в аэродинамических трубах структуры сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев, которая характеризуется профилями скорости и температуры, особенностями генерации и диссипации турбулентности, переноса вихрей и т.д., одновременно моделировать натурные числа Рейнольдса, Маха, значения температурного фактора пока не представляется возможным для полета сверх-

звуковых объектов типа «Викинг-10» [8], Мираж IV [9], М100 [10,11], «Облако» [12] и др. Каждое из указанных выше чисел Рейнольдса и Маха, температурный фактор (неизотермичность) сложным образом влияют на профили скорости, температуры в пристеночных турбулентных пограничных слоях [1]. Особенно сложен физический механизм совместного влияния, например, на профили скорости и температуры чисел Рейнольдса и Маха, температурного фактора (неизотермичности), вдува газов через обтекаемую пористую поверхность.

На крыле сверхзвукового самолета Мираж IV [9] измерен профиль скорости, а на головной части аэрофизического комплекса типа М100 [11] измерены профили полной температуры в различные моменты времени при полете М100 по траектории. В [9] и в [11] измерения соответственно профилей скорости и полной температуры осуществлены на непроницаемых поверхностях летных объектов при одновременном влиянии чисел Рейнольдса, Маха и температурного фактора в условиях работы двигателей, что невозможно моделировать в аэродинамических трубах.

Известно влияние на структуру сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев, например, на профиль скорости пористого вдува воздуха и неизотермичности [1]. Принимая во внимание роль температурного фактора (неизотермичности), возникает необходимость в поиске способа его моделирования в сверхзвуковой аэродинамической трубе при обтекании пористой поверхности турбулентным потоком в условиях вдува воздуха.

Перспективным представляется способ моделирования неизотермичности (температурного фактора) в турбулентном пограничном слое на пористой пластине при наличии вдува воздуха, основанный на использовании теплового излучения CO_2 -лазера, работающего в непрерывном режиме. Имеется ряд работ, в которых применялись лазеры различных типов для моделирования сложных процессов тепло- и массообмена в пристеночных течениях. В работе [12] исследованы физико-химические процессы при воздействии излучения импульсного лазера на элемент теплозащитного покрытия в режиме, соответствующем входу тела в плотные слои атмосферы с гиперзвуковыми скоростями. Работы [13,14] посвящены экспериментальному изучению взаимодействия излучения CO_2 -лазера

с длиной волны 10,6 мкм с пограничным слоем воздуха при вдуве в него газообразной шестифтористой серы SF_6 .

Преимущество монохроматического лазерного излучения состоит в том, что с его помощью можно создавать локальные тепловые потоки на обтекаемых газами поверхностях. Это обстоятельство целесообразно использовать для моделирования неизомеричности (температурного фактора) при $T_w > T_\infty$ в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое, формирующемся на модели в сверхзвуковой аэродинамической трубе.

В настоящей работе ставится задача исследовать профиль скорости в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое на пористой плоской поверхности при вдуве через нее воздуха при наличии неизомеричности (температурного фактора) при $T_w > T_\infty$, создаваемой локальным тепловым потоком ИК излучения CO_2 -лазера, в сверхзвуковой аэродинамической трубе.

Цель работы состоит в измерении профиля скорости в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое на пористой поверхности при совместном воздействии вдува воздуха и неизомеричности с использованием монохроматического теплового излучения CO_2 -лазера. Ранее этот вопрос обсужден в докладе автора [15].

4. Изложение основного материала исследования.

Эксперименты по измерению профиля скорости в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое на пористой плоской поверхности при наличии вдува воздуха и неизомеричности проведены в сверхзвуковой малотурбулентной аэродинамической трубе Т325 Института теоретической и прикладной механики Сибирского отделения РАН при числе Маха потока $M_\infty = 2.5$, единичном числе Рейнольдса потока $Re_{1,\infty} = 30 \cdot 10^6$ 1/м. Модель пористой пластины с шероховатостью $R_z = 20$ устанавливалась в рабочей части аэродинамической трубы на ее боковой стенке заподлицо с обтекаемой поверхностью рабочей части. В экспериментах измерялись профили полного давления $P'_o(y)$ с помощью насадка полного давления, установленного на координатнике, с размерами приемной части насадка высотой $h = 0,3$ мм, шириной $b = 1$ мм. По длине пористой пластины измерялось статическое давление $P_w(x)$ в 9-ти точках, температура пористой пластины по ее длине, расход воздуха на вдув через пористую пластину

и его температура. На основе измеренных значений полного давления $P'_o(y)$ и статического давления $P_w(x)$ рассчитывались профили скорости $U(y)$. Здесь y – вертикальная координата, x – продольная координата.

Для создания неизомеричности в турбулентном пограничном слое использовался поток монохроматического инфракрасного излучения непрерывного CO_2 -лазера с длиной волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм. Лазер имел максимальную мощность в многомодовом режиме $N = 40$ Вт. В экспериментах в аэродинамической трубе Т325 лазер работал в одномодовом режиме при номинальной мощности $N = 10$ Вт. Размер теплового пятна, создаваемого пучком лазерного излучения на пористой пластине, составлял в диаметре $d_{\text{пл}} \cong 8$ мм.

Тепловое излучение CO_2 -лазера проходило в рабочую часть аэродинамической трубы и далее на пористую пластину, установленную заподлицо на стенке рабочей части, через кристалл NaCl на заглушке, расположенной на боковой стенке рабочей части трубы, противоположной от пористой пластины. Измерения профилей скорости проводились на расстоянии 1 мм вниз по течению основного потока от теплового пятна на пористой пластине, создаваемого CO_2 -лазером, для того, чтобы его излучение не попадало на насадок и не нагревало его. Важно, что измерения профилей полного давления $P'_o(y)$ в турбулентном пограничном слое на пористой стенке и распределения статического давления по ее длине $P_w(x)$ проведены для условий стационарного теплового режима, который контролировался по температуре пористой пластины, измерявшейся с помощью хромель-алюмелевых термопар при воздействии теплового излучения CO_2 -лазера.

Для получения надежных данных о профилях скорости в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое на пористой поверхности при совместном воздействии вдува воздуха через нее и неизомеричности первоначально на пористой пластине при отсутствии вдува воздуха был измерен профиль скорости $U(y)$ в малотурбулентной сверхзвуковой аэродинамической трубе Т325 при числе Маха потока $M_\infty = 2.5$ и единичном числе Рейнольдса $Re_{1,\infty} = 30 \cdot 10^6$ 1/м и сравнивался с профилем скорости, измеренным автором в сверхзвуковом турбулентном пограничном на плоской модели в сверхзвуковой

У наміческої трубі Т313 ІТ і ПМ СО РАН при ідентичних параметрах основного потоку газу. На фіг.1 приведені профілі швидкості $U(y)$, отримані автором відповідно в аеродинамічних трубах Т325 (точки 1) і Т313 (точки 2).

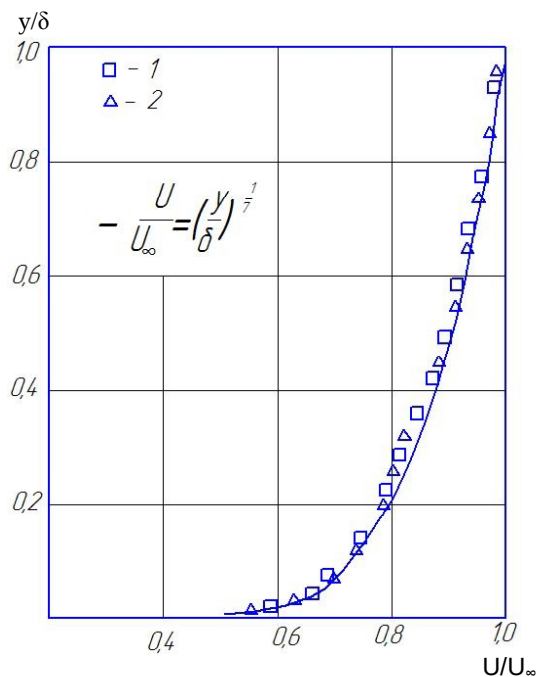


Рисунок 1. Профілі швидкості в турбулентному пограничному шарі при $M_\infty = 2,5$:

1 – Опыты Т 313; 2 – Опыты Т 325

y – вертикальна координата; δ – товщина турбулентного пограничного шару; ∞ – індекс швидкості U в невзмущеному потоці

Ці профілі швидкості добре згодні між собою, описуються степовою залежністю $\frac{U(y)}{U_\infty} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7}$ (y – вертикальна координата,

відрахована від обтекаємої стінки при переміщенні насадка повного тиску за допомогою координатника з електричним приводом, δ – товщина турбулентного пограничного шару), що дозволило перейти до основних вимірювань в Т325: 1) виміряно профіль швидкості $U(y)$ в турбулентному пограничному шарі на пористій пластині без вдування в квазіізотермічних умовах обтекання при відсутності випромінювання CO_2 – лазера при $M_\infty=2,5$; 2) виміряно профіль швидкості на пористій пластині в турбулентному пограничному шарі при наявності вдування повітря при відсутності випромінювання CO_2 – лазера в квазіізотермічних умовах обтекання при $M_\infty=2,5$; 3) виміряно профіль

швидкості на пористій пластині при наявності вдування повітря в турбулентний пограничний шар і неізотермічності (температурного фактора), створюваної при локальному впливі теплового випромінювання CO_2 – лазера на пористу пластину при $M_\infty=2,5$.

На рис. 2 приведені три профілі швидкості $U(y)$, розраховані за експериментальними профілями повного тиску $P'_o(y)$ з використанням виміряного статичного тиску на пористій пластині $P_w(x)$ в заданому перерізі по X .

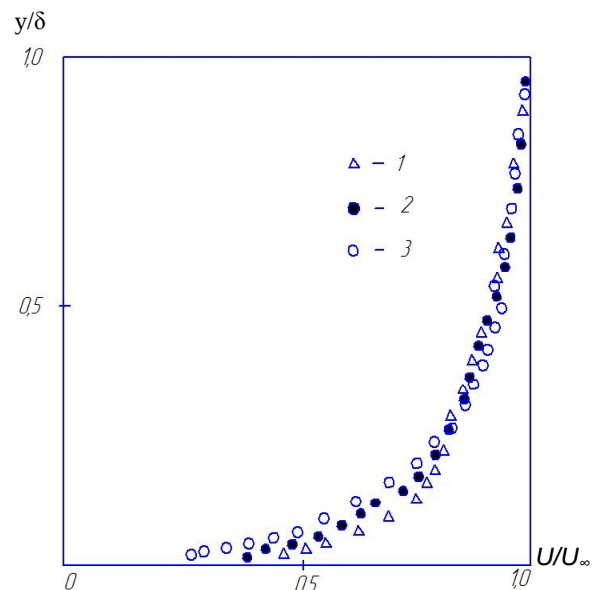


Рисунок 2. Профілі швидкості в турбулентному пограничному шарі на пористій пластині при $M_\infty=2,5$

1 – без вдування при відсутності випромінювання;

2 – при наявності вдування без випромінювання;

3 – при наявності вдування і лазерного випромінювання.

Всі три профілі виміряні в одному і тому ж перерізі по довжині пористої пластини. На рис.2 профіль швидкості 1 отримано при відсутності вдування повітря і лазерного випромінювання і відповідає експериментальним даним на фіг.1. Профіль швидкості 2 на фіг.2 виміряно при наявності вдування повітря і при відсутності лазерного випромінювання, т.е. при відсутності неізотермічності. Видно, що наявність вдування повітря з відносним масовим витратом повітря $j_w = 0,007$

$\left(j_w = \frac{\rho_w \cdot V_w}{\rho_\infty U_\infty}\right)$ призводить до зменшення заповненості профілю швидкості, до зменшення градієнта швидкості на пористій пластині,

следовательно, к снижению локального коэффициента трения, что согласуется с расчетными и опытными данными [1].

Профиль скорости 3 на рис.2 измерен при одновременном воздействии на турбулентный пограничный слой на пористой пластине вдува воздуха при $j_w = 0,007$ и теплового потока, создаваемого излучением CO_2 -лазера.

Падающий на пористую пластину тепловой поток, генерируемый CO_2 -лазером в одномодовом режиме его работы, составлял $q_w \cong 2 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$. Температурный фактор (неизотермичность) составлял $T_w / T_\infty \cong 1,2$. Последующее измерение профилей скорости, представленных на фиг.2, позволило, с одной стороны, показать возможность моделирования неизотермичности в сверхзвуковой аэродинамической трубе с помощью теплового излучения CO_2 – лазера, с другой стороны, позволило выделить количественно влияние неизотермичности на профиль скорости при совместном влиянии вдува воздуха и теплового излучения CO_2 – лазера.

Выводы.

1) Проведенные измерения профилей скорости позволяют утверждать о возможности исследовать влияние неизотермичности на структуру поля течения в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое в аэродинамической трубе с использованием излучения CO_2 –

лазера.

2) Проведенный эксперимент с использованием CO_2 – лазера открывает возможности для исследования влияния температурного фактора T_w/T_∞ на структуру сверхзвуковых турбулентных пограничных слоев (профили скорости, температуры) при больших уровнях неизотермичности в случае применения CO_2 – лазеров, мощность которых измеряется в кВт, как на непроницаемых поверхностях, так и на пористых в условиях вдува воздуха и других оптически прозрачных газов (гелия, водорода, азота и др.) с различной молекулярной массой.

3) Проведенные эксперименты с применением CO_2 -лазера открывают возможности исследовать эффективность различных типов тепловой защиты поверхностей, включая аблирующие (уносимые) их виды, в сверхзвуковых аэродинамических трубах.

4) Реализованная методика применения теплового излучения CO_2 -лазера позволяет моделировать в сверхзвуковых аэродинамических трубах сложный теплообмен при наличии теплообмена конвекцией и тепловым излучением при вдуве в турбулентный пограничный слой оптически активных газов, взаимодействующих с излучением CO_2 -лазера (CO_2 , SF_6 и др.).

Литература

1. Кутателадзе С.С. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое / С. Кутателадзе, А. Леонтьев – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 319 с.
2. Кудрявцев В.М. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / Кудрявцев В.М. – М.: Высшая школа, 1983. – 703 с.
3. Авдеевский В.С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / Авдеевский В.С., Галицейский Б.М., Глебов Г.А. – М.: Машиностроение, 1975. – 362 с.
4. Фернандес Ф.Л. Экспериментальное исследование сверхзвукового турбулентного течения с сильным распределенным вдувом через поверхность /Ф. Фернандес, Е. Зукоски. – Ракетная техника и космонавтика // - 1969. – Т.7, №9. – С. 121-131.
5. Ерошенко В.М. Гидродинамика и тепломассообмен на проницаемых поверхностях /В. Ерошенко, Л. Зайчик. – М.: Наука, 1984. – 274 с.
6. Павлюченко А.М. Радиационно-конвективный теплообмен в условиях пористого вдува CO_2 в диатермический турбулентный пограничный слой в поле инфракрасного излучения. / Павлюченко А.М., Паздников А.Г., Степаненко П.И. - Новосибирск, Институт теплофизики СО АН СССР, 1979, - С. 89-98.
7. Leont'ev A.I. Heat and mass transfer in optically thin turbulent boundary layer with IR radiation / Leont'ev A.I., Pavlyuchenko A.M., Rubtsov N.A. // Inzh – Fiz. Journal – 1985. – V. 48, № 6. – С. 885-894.
8. Снодграсс С.Б. Полетные испытания по определению аэродинамического нагрева и точки

- перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный на носовой конической части ракеты «Викинг-10» / С.Б. Снодграсс. Вопросы ракетной техники. 1957. № 3 – С.28.
9. Erlich E. Probing in Flight the Boundary Layer of the Supersonic Airplane Mirage – IV / La Rech. Aerospacial. 1968. № 122. – P. 11.
 10. Pavlyuchenko A.M. Heat Transfer, Skin Friction and Aerophysical Characteristics of Nose Cones Axisymmetric Flight Objects for Laminar, Transitional and Turbulent Boundary Layer for $Re_{L,\infty} \leq 10^8$, $M_\infty \leq 5,0$ / A.M. Palyuchenko // Heat Transfer (Research). – 1994. – V. 25, № 3. – P. 329.
 11. А.М. Павлюченко. Исследование аэрофизических и динамических характеристик на летном осесимметричном комплексе с головной частью многоразового использования / А.М. Павлюченко, О.А. Брагин // Сибирский физико-технический журнал. - 1992. – Вып.1 - С. 66-76.
 12. Полежаев Ю.В. Тепловая защита / Ю.В. Полежаев, Ф.Б. Юревич. – М.: Энергия, 1976. – 390 с.
 13. Anderson I.D. CO₂ – laser radiation absorption in SF₆ – air mixtures / Anderson I.D., Waqner I.L., Knott I. // AIAA Journal. – 1973. V. 11, № 10.
 14. Anderson I.D. I r. Computations CO₂ – laser radiation in SF₆ – air boundary layers / I.D. I r. Anderson // AIAA Journal. – 1974. – V. 12, № 11.
 15. Павлюченко А.М. Влияние излучения CO₂ – лазера и пористого вдува воздуха на сжимаемый турбулентный пограничный слой / А. Павлюченко Тезисы доклада. Сб. Всесоюзной конференции по радиационному теплообмену в технике и технологии. – Каунас. 1987. – 4 с.

A method of generation of non-isothermality has been realized for application in the turbulent boundary layer of a streamlined flat surface in a super-sonic wind channel, via CO₂-laser thermal radiation. The velocity profiles on the porous plate have been measured in the presence of air injection and non-isothermality. This experiment provides further research opportunities in the application of CO₂-laser radiation in such fields as thermal protection of surfaces by porous gas injection to the ablative surface, or in heat exchange by convection and radiation during injection of optically active gases (e.g. CO₂, SF₆, etc.) through the porous surface.

Реалізований метод формування неізотермічності в турбулентному пограничному шарі на обтікаємій плоскій поверхні в надзвуковій аеродинамічній трубі з використанням теплового випромінювання CO₂-лазера. Вимірювані профілі швидкості на пористій пластині при наявності вдува повітря і неізотермічності. Застосування випромінювання CO₂-лазера в аеродинамічному експерименті відкриває можливості дослідження теплового захисту поверхонь шляхом пористого вдуву газів на абліруючій поверхні, дослідження теплообміну конвекцією і випромінюванням при вдуві через пористу поверхню оптично активних газів (CO₂, SF₆ та ін.).

УДК 517.52

В.Ф.Власенко, к.ф.-м.н., доцент, Сумський НАУ

А.М.Розуменко, к.ф.-м.н., доцент, Сумський НАУ

ПІДСУМОВУВАННЯ РОЗБАВЛЕНЬ РЯДУ $\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n$ МАТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

В статті наведені історичні відомості про ряд $\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n$, його роль у пошуках узагальнення суми ряду; досліджені питання про потужність, міру та категорію підсумовуваних та не підсумовуваних розбавлень ряду $\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n$ методами (C, 1) та Абеля-Пуассона.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Математики давно цікавились розбіжними рядами. Одним з них є ряд

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n = 1 - 1 + 1 - 1 + \dots + 1 - 1 + \dots \quad (1)$$

В 1696 р. Якоб Бернуллі, виходячи з рівності, правильної для $|x| < 1$,

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots, \quad (2)$$

для $x = 1$ отримав, що

$$\frac{1}{2} = 1 - 1 + 1 - 1 + \dots \quad (3)$$

Італійський монах, професор філософії і математики Пізанського університету Гвідо Гранді у 1703 р., розглядаючи рівність (3) і групує попарно члени у правій частині, прийшов до «рівності»: