

УДК 532.621

## СТРУКТУРА ПОТОКА ПРИСУЩА ДВИЖЕНИЮ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Арсирий В.А., Арсирий Е.А. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесский национальный политехнический институт

**Статья посвящена анализу визуальных и гидравлических исследований процессов движения жидкостей и газов. Разработаны и экспериментально подтверждены представления о структуре потоков, устойчивой в поперечном и продольном сечениях, которая позитивно либо диссипативно влияет на энергетические, акустические и другие характеристики движения жидкостей и газов.**

Современные представления о процессах движения жидкостей и газов используют понятие турбулентность как сложное, неупорядоченное во времени и пространстве поведение диссипативных сред, которое не может быть воспроизведено при сколь угодно точном задании начальных и граничных условий. Традиционные уравнения, описывающие турбулентные течения, обеспечивают расчет только осредненных параметров потоков: скорости, давления, плотности и температуры.

Визуальные и гидравлические исследования доказали, что структура потока присуща всякому движению жидкостей и газов без какого-либо влияния внешних причин. Для выявления распределения или поля мгновенных значений гидродинамических параметров особую роль играют методы визуализации гидродинамических структур потоков. Возможность визуализации распределения гидроаэродинамических параметров в виде полей скорости и (или) давления в потоке с последующим анализом визуальных картин (изображений) процессов перемещения жидкостей и газов позволяет преодолеть существенные теоретические сложности исследования различных гидро- и аэродинамических явлений и решения прикладных задач [1, 2].

На рис. 1 представлены изображения струи, вытекающей в затопленное пространство, полученные различными методами визуализации[3]. На рис. 1а,в,д представлен турбулентный режим течения струи, где видны крупномасштабные структуры в виде

однородных оптических областей и мелкомасштабные структуры в виде линий тока. На рис. 1б,г,е представлен ламинарный режим течения, где хорошо видны мелкомасштабные структуры в виде полос – линии тока.

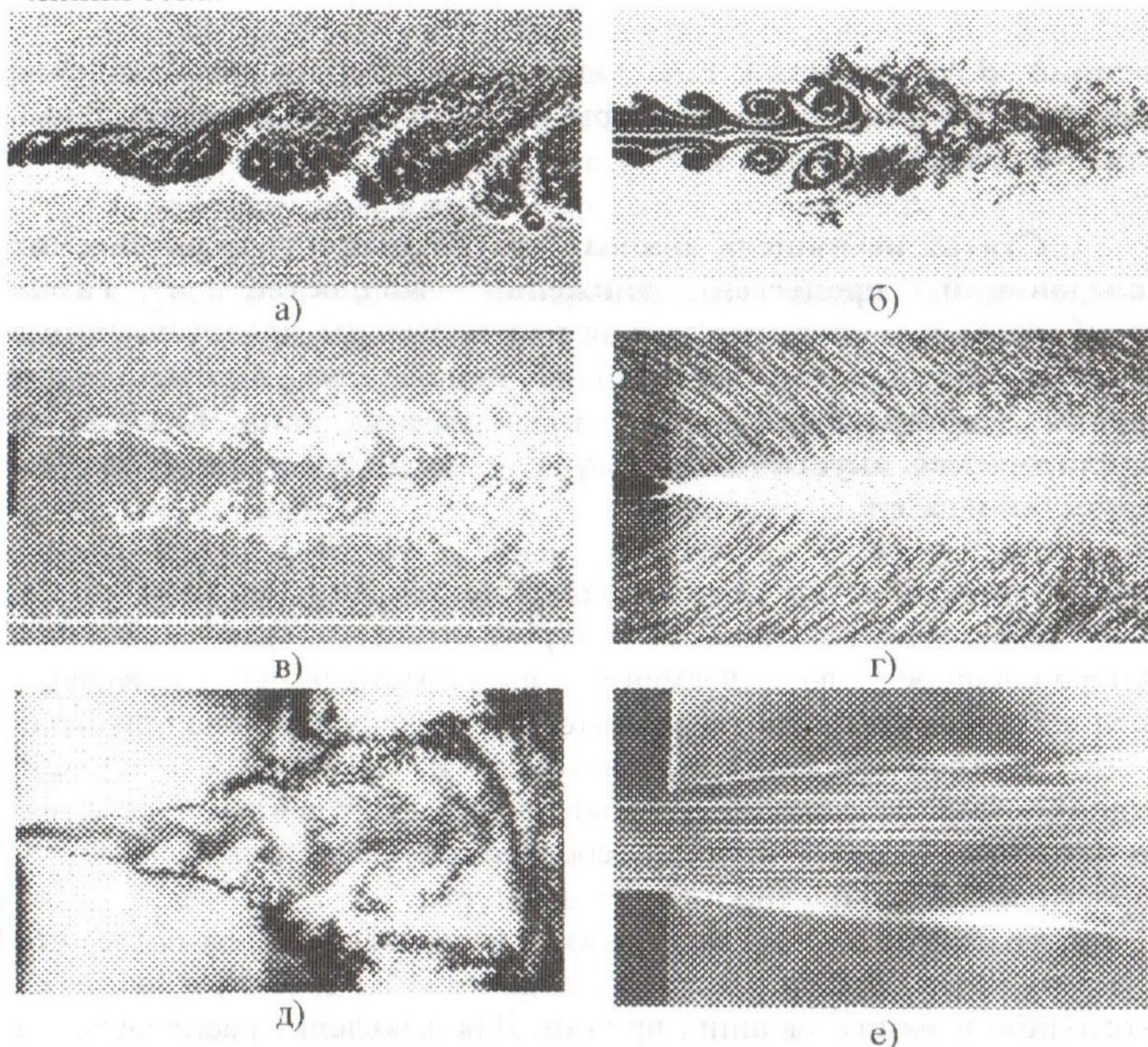


Рис. 1 Изображения струи, вытекающей в затопленное пространство

а) – искровой метод; б) – визуализация дымом; в) – метод флуоресценции, индуцированной лазером; г) – метод трассеров пузырьками воздуха; д) – визуализация с использованием оптически активной жидкости (турбулентный режим); е) – визуализация с использованием оптически активной жидкости (ламинарный режим);

Анализ известных методов визуализации движения жидкостей и газов показал, что использование оптически активных жидкостей (ОАЖ) обеспечивает выявление новой информации о структуре потоков. Поэтому основой экспериментальных исследований является метод визуализации дискретных структур потоков (МВДСП). В

качестве ОАЖ использован водный 0,05 %-ный раствор оксида ванадия  $V_2O_5$ . Для исследований изготавливается тонкое гидравлическое моделирующее устройство, в котором ОАЖ движется с заданными параметрами (по числу Рейнольдса). Процесс движения регистрируется и анализируется, исходя из величин оптической плотности, которая характеризует поле мгновенных значений гидродинамических параметров – скорости/давления. Светлые области характеризуют положительные составляющие (компоненты) скорости в данной точке, темные области – отрицательные составляющие (компоненты) скорости.

Наиболее распространенными элементами проточных частей энергетического оборудования (котлов, турбин, нагнетателей и др.) являются повороты. На рис. 2 представлено изображение структуры потока в повороте «колени». Представленные изображения позволяют диагностировать причины высоких величин гидравлических сопротивлений  $\zeta = 1,2 - 1,8$ . Зоны отрыва потока от стенок и вихри являются причиной потерь энергии. Лучшие гидравлические характеристики из существующих традиционных поворотов имеет «отвод» с величиной гидравлического сопротивления  $\zeta = 0,28 - 0,4$ .

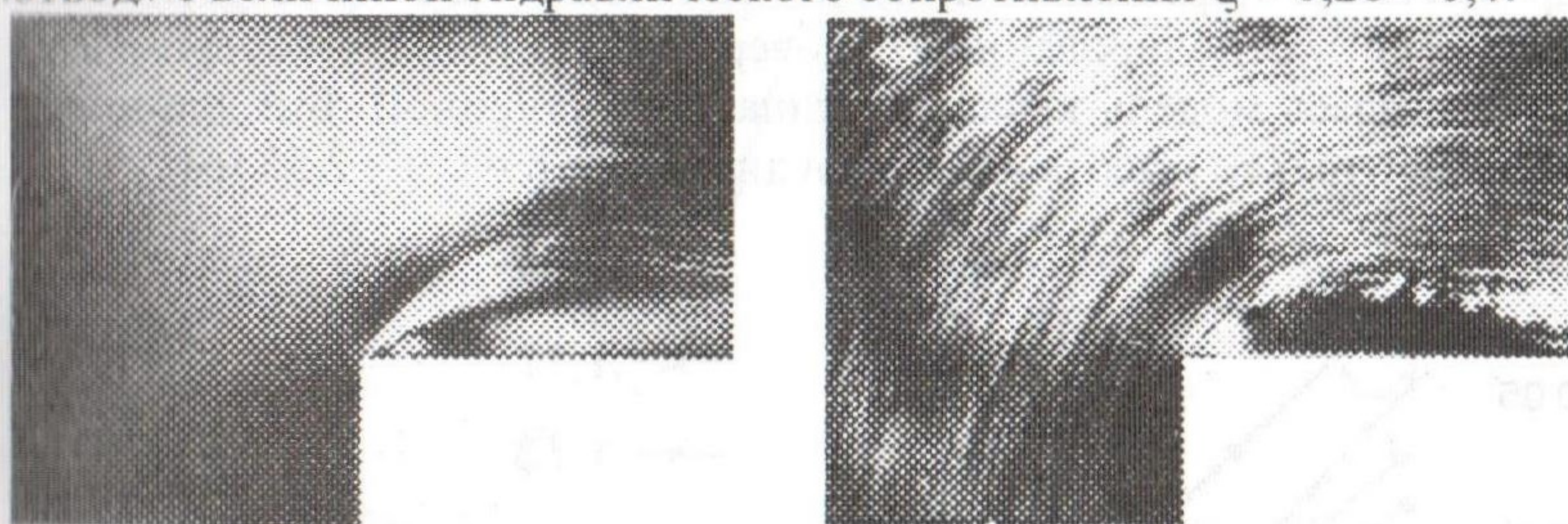


Рис.2 Диагностика потока в повороте «колени»:

Проведенные эксперименты показали, что потоки жидкостей и газов имеют устойчивую структуру: в поперечном сечении – в виде линий тока (при ламинарном режиме – Рис. 1б, е и Рис. 2б), в продольном сечении – в виде дискретных структур и вихревых зон (при турбулентном режиме – Рис. 1а,в,д и Рис. 2а). Таким образом, МВДСП позволяет проводить диагностику структуры потоков. Информация, полученная на основе диагностики потоков, может быть использована для совершенствования проточных частей.

В статье представлены также результаты гидравлических исследований, демонстрирующие характер и уровень влияния структуры потоков на энергетические характеристики потоков и

подтверждающие энергетическую целесообразность обеспечения *безотрывности* движения жидкостей и газов, а также использования *поперечных* и *продольных* структур потоков при совершенствовании проточных частей различного оборудования.

Возможности метода совершенствования проточных частей, основанного на визуальной диагностике и анализе структуры потоков, демонстрируются на примере снижения гидравлического сопротивления в повороте потока на  $90^\circ$ . За счет обеспечения *безотрывности течения* в проточной части поворота и устранения диссипативных зон и вихрей, величина гидравлического сопротивления поворота может быть снижена до  $\zeta = 0,04$ .

Устойчивый характер распределения *поперечных структур потоков* (рис. 1з, рис. 2) позволил разработать и провести ряд экспериментов, подтверждающих влияние поперечных структур на гидравлические параметры (скорость, давление) и энергетические характеристики (коэффициента гидравлического трения  $\lambda_f$ , коэффициент теплоотдачи) при движении жидкостей и газов.

Проведены исследования зависимости коэффициента гидравлического трения  $\lambda_f$  от числа Рейнольдса  $Re$  в прямоугольных каналах с отполированной поверхностью. В эксперименте использовалась модель канала с одинаковой шириной  $b$  и длиной  $l$ , изменялась только высота канала  $h$  в диапазоне  $h = 0,9 - 2,55$  мм.

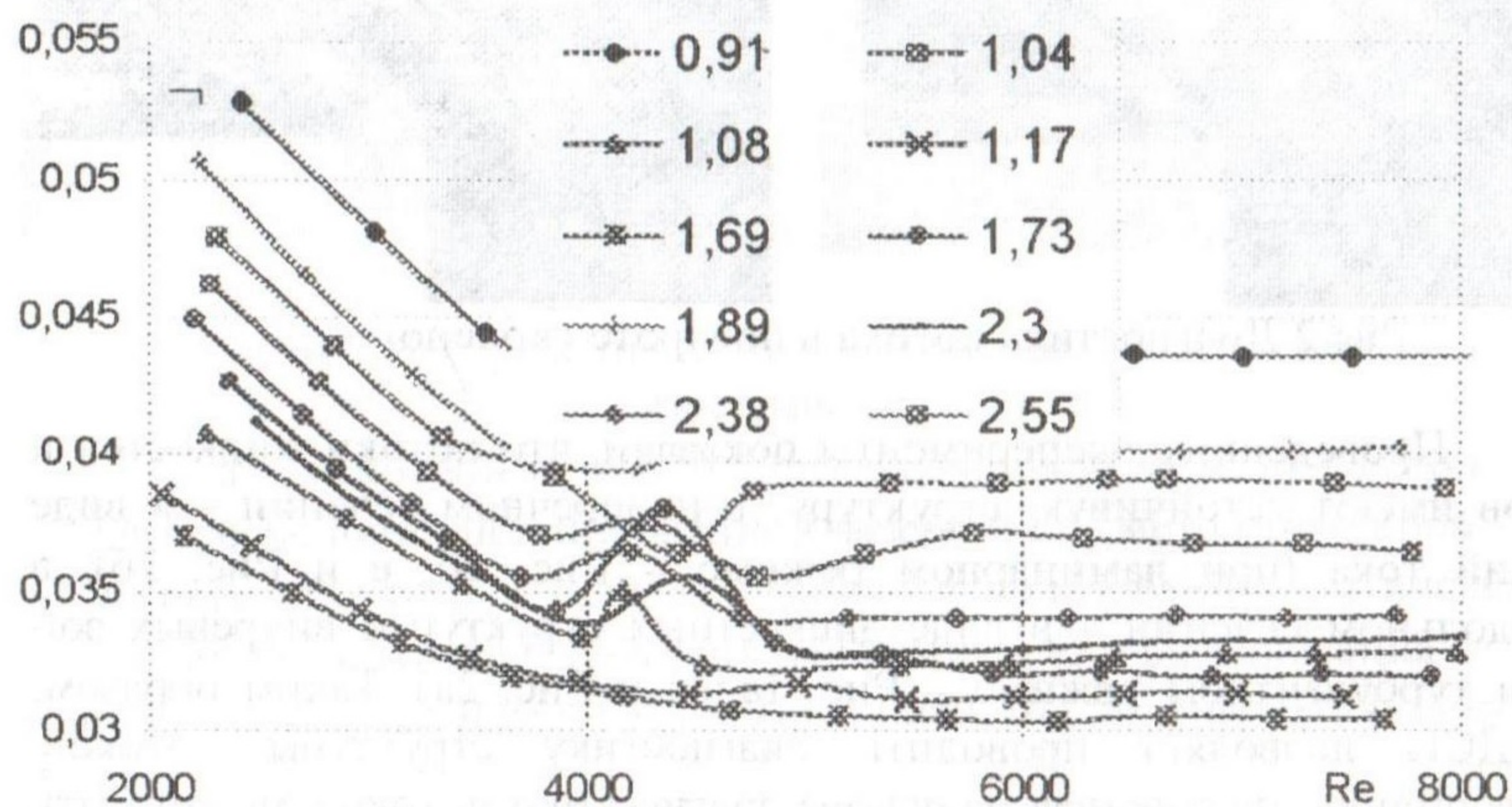


Рис.3. Зависимость  $\lambda_f = f(Re)$  при различной высоте канала

Анализ результатов эксперимента показал, что для заданной величины начального давления  $P_n$  в моделях линейному изменению

размеров  $L$  [мм] соответствует волновой характер изменения скорости, рассчитанной по измеренному расходу. То есть изменение величин коэффициента гидравлического трения  $\lambda_f$  имеет волновой характер с длиной волны  $\bar{\lambda}$ . Отклонение величины коэффициента гидравлического трения  $\lambda_f$  от среднего значения при  $Re > 6000$  составляет  $\pm 16\%$ , при  $Re < 3500$  отклонение более 20%.

Волновой характер изменения компоненты скорости  $\Delta V$  по отношению к осредненной скорости, полученной линейной аппроксимацией результатов всей серии экспериментов, представлен на рис. 4.

Проведенные эксперименты, а также анализ известных научных результатов показали, что отклонение параметров скорости  $V$ , коэффициента гидравлического трения  $\lambda_f$ , коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , высоты капиллярного подъема  $h_k$  от осредненных значений для заданной величины начального давления  $P_n$  при изменении поперечных размеров проточных частей имеет волновой характер с длиной волны  $\bar{\lambda}$ .

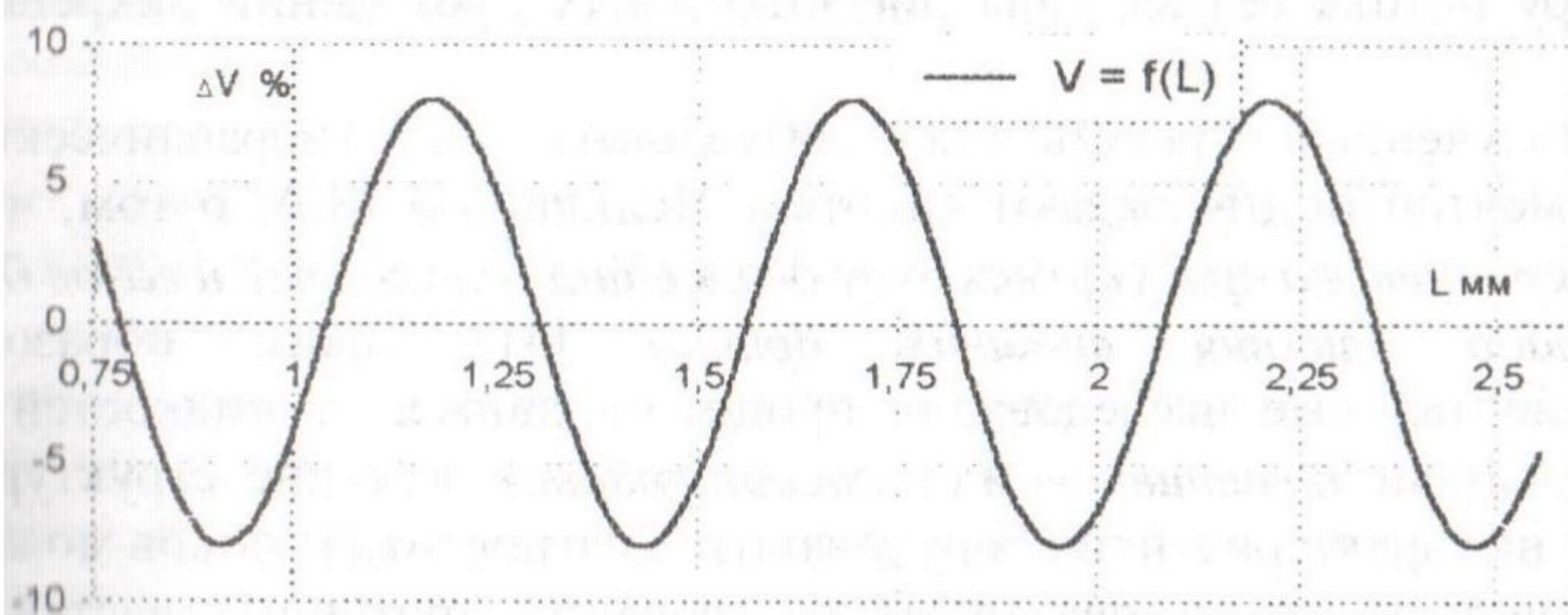


Рис. 4. Характер изменения компоненты скорости  $\Delta V$  при изменении поперечных размеров каналов  $L$

Полученный размер длины волны  $\bar{\lambda}$ , соответствует размерам поперечных структур ламинарного и турбулентного потоков (рис. 1 д, рис. 2) для поперечных размеров каналов  $L = 0,9 \div 6$  мм. Поперечные структуры могут быть использованы при проектировании проточных частей при движении жидких и газообразных рабочих тел. Нечетное количество полуволн соответствует позитивному влиянию поперечных структур, четное количество полуволн – диссипативному влиянию.

Устойчивый характер распределения *продольных дискретных структур потоков* (рис. 1 е) позволяет разработать проточные части эжекционных устройств для решения проблем качественного сжигания, эффективного горения, обеспечения заданных параметров

структурообразования. На рис. 5 показана методика учета продольных дискретных структур и вихревых зон турбулентной струи при разработке камеры смешения, либо камеры сгорания.

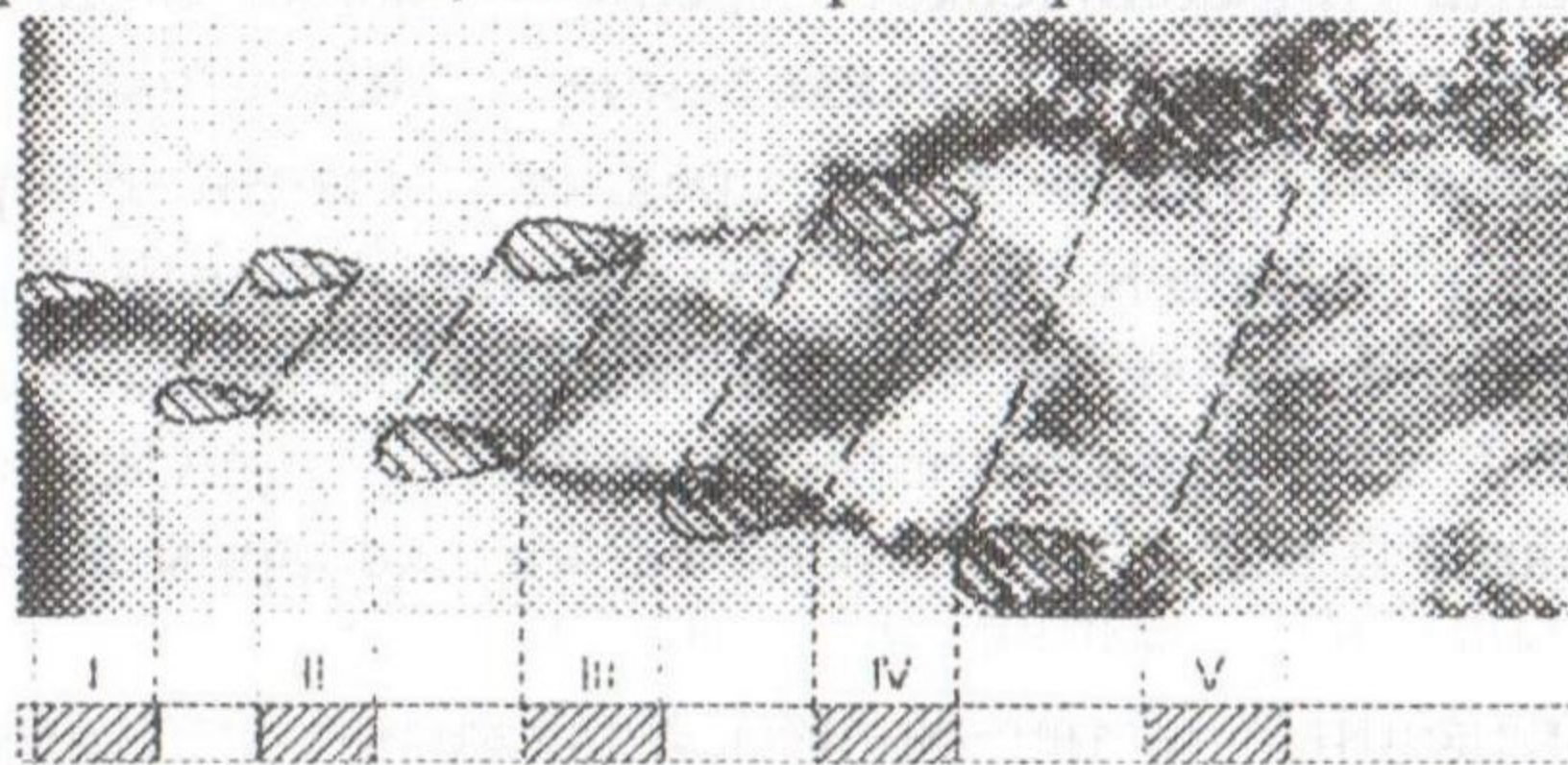


Рис. 5. Конструирование камеры смешения (сгорания)

Дискретные структуры являются зонами максимального вовлечения (эжектирования). Направляющие лопатки корпуса камеры смешения замещают вихревые зоны и, таким образом, устраняют причину диссипации энергии. Дискретные структуры формируют структуру потока без влияния диссипативных проявлений вихревых зон.

Полученные результаты визуальных и гидравлических экспериментов подтверждают гипотезу Великанова М.А. о том, что *структура потока присуща всякому движению жидкостей и газов без какого-либо влияния внешних причин* [4]. Таким образом, экспериментальные исследования процессов движения жидкостей и газов показали *позитивное* или *диссипативное* влияние структуры потоков на характеристики оборудования. Диагностика потоков может использоваться как основа совершенствования проточных частей с целью повышения эффективности и снижения уровня пульсаций и соответственно шума и вибрации оборудования.

#### Литература

1. Арсірій В.А. Метод візуалізації дискретних структур потоків – основа FST-технології. // Ринок інсталяційний, — № 8, 1999, С. 17–19.
2. Пат. PST 5.838.587 USA Method of restricted space formation for working media motion. // Maisotsenko V. S., Arsiri V. A. — Publ. 07.11.1998.
3. Альбом течений жидкости и газа: А.56. Пер с англ./ Сост М. Ван Дайк.— М.: Мир. 1986.— 184 С.
4. Великанов М.А. Динамика русловых потоков: т. 2. – М.: Стройиздат, 1954. – 280 С.