

ВИЗУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Арсирый В.А. канд. техн. наук ОГАСА, Е.А. Арсирый канд. техн. наук ОНПУ

Гидродинамика одна из древнейших наук, однако до сих пор классические представления о процессах движения жидкостей и газов сводятся к осреднению во времени значений скорости и давления, а понятие турбулентность ассоциируется с хаосом. В большей мере это связано с тем, что все жидкие и газообразные среды прозрачны и структура их движения скрыта от человеческого зрения. Выявление закономерностей организации структуры потоков остается самой сложной проблемой механики. В течении всей истории гидродинамических исследований ученые пытались сделать видимой - визуализировать структуру потоков, которая может дать новую информацию для прямых исследований закономерностей движения жидкостей и газов. Существует много методов визуализации потоков. Большая часть из них относится к диффузионным методам, которые основаны на добавлении в жидкость различных примесей (порошков, опилок), меток (пузырьков воздуха или газов) либо различных красителей. В большинстве случаев эти методы позволяют увидеть лишь границы потока и вихревые зоны, а кроме того, они существенно изменяют свойства исследуемых жидкостей - плотность, вязкость и др..

В данной статье представлены визуальные исследования структуры потоков при моделировании движения жидкостей и газов оптически активной жидкостью (ОАЖ). В представленных исследованиях для получения ОАЖ использован коллоидный раствор оксида ванадия-V 0,05% -ной массовой концентрации. При этом известно, что увеличение содержания в водопроводной воде растворимых солей до 0,09 %-ной массовой концентрации не меняет ее гидродинамических параметров. Вязкость используемого раствора при постоянной температуре отличается от вязкости воды не более, чем на 3%. Эти два фактора позволяют сделать заключение о соответствии физико-механических свойств ОАЖ с добавками оксида ванадия-V свойствам реальных жидкостей [1].

Информативность ОАЖ определяется следующими свойствами оксида ванадия-V. Частицы оксида ванадия имеют жесткую

эллипсоидальную форму и ориентируются в потоке в соответствии с направлением скорости. По этому признаку данный метод визуализации можно отнести к диффузионным. Кроме того, в поляризованном свете в каждой точке движения ОАЖ меняется ее оптическая плотность (величина пропускания света). Исследования показали, что оптическая плотность определяется величиной напряжений в этих точках. По этому признаку данный метод визуализации можно отнести к денситометрическим, которые основаны на изменении величины скорости (плотности, давлений). Эти признаки определяют широкие экспериментальные возможности метода и перспективу улучшения информативности визуальных исследований потоков с использованием ОАЖ.

Однако методы визуализации с использованием ОАЖ применяются редко из-за трудностей изготовления ОАЖ и поддержания ее в рабочем состоянии. Еще 15 лет назад сложности пространственно-временной синхронизации структуры потоков с режимом их фоторегистрации резко снижали качество визуальных картин, которое не на много превышало информативность других методов визуализации. Новые результаты о волновом характере распределения пульсационных компонент скорости в поперечном сечении потоков позволили принципиально изменить метод получения визуальных картин структуры потоков [2]. На основе этих результатов был разработан метод визуализации дискретных структур потоков (МВДСП) [3].

Схема экспериментального стенда, на котором выполняется физическое моделирование с целью визуализации дискретных структур потоков, представлена на рис. 1.

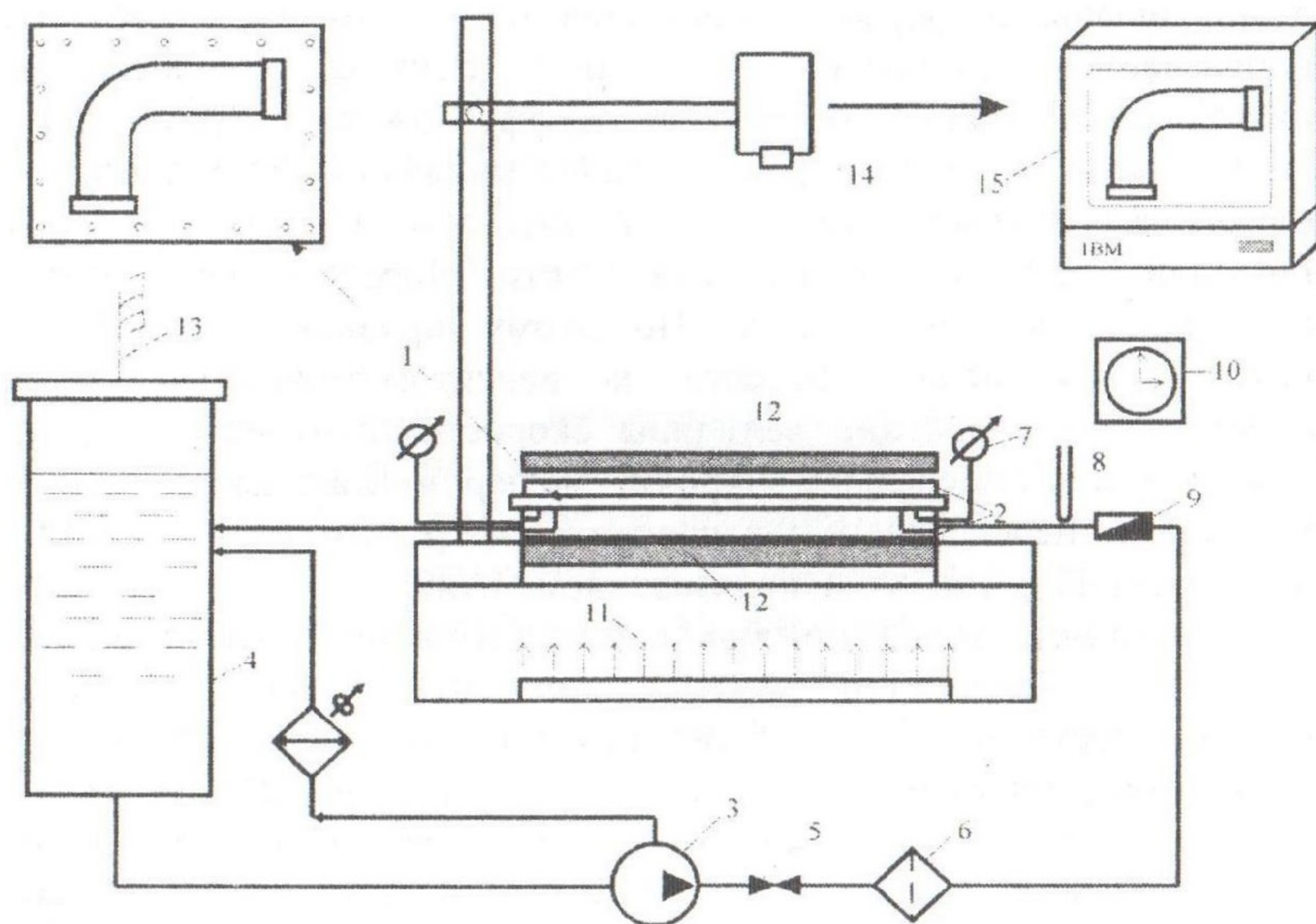


Рис. 1 Экспериментальный стенд для визуализации потоков

1 - моделирующее устройство; 2 - плиты покровные; 3 - Насос; 4 - Бак компенсатор-воздухоотделитель; 5 - Вентиль; 6 - Фильтр механический (гаситель пульсаций); 7 - манометры образцовые; 8 - термопара; 9 - Расходомер; 10 - секундомер; 11 - источник света; 12 - поляриод; 13 – Теплообменник с вентилятором; 14 - фотоаппарат; 15 – компьютер.

Для исследования потоков изготавливается специальное моделирующее устройство, в виде канала в тонком листе калиброванного материала (например, гетинакса или органического стекла). Высота канала моделирующего устройства (толщина листа) в направлении просвечивания подбирается с условием обеспечения максимальных градиентов скорости. В ортогональной плоскости этот канал моделирует тонкий срез характерного сечения проточной части реального объекта. Размеры канала характерного сечения изготавливаются в соответствии с масштабом моделирования, либо соответствуют натуральным размерам проточной части. Моделирующее устройство закрепляется между двумя прозрачными плитами. В канале обеспечивается режим движения ОАЖ в соответствии с режимом движения жидкости в проточной части реального оборудования. При освещении движущейся ОАЖ

поляризованным светом получается визуальная картина в виде линий и областей разных размеров и разной оптической плотности. Полученные фотографии или другие изображения количественно характеризуют поле мгновенных значений гидродинамических параметров. Изображения позволяют исследовать закономерности организации структуры потоков в широком диапазоне режимов движения жидкостей и газов. Хотя моделирование и визуализация структуры потоков выполняется в тонких (квазидвумерных) каналах моделирующих устройств, полученные результаты с большой степенью достоверности отражают структуру потоков в объемных (трехмерных) проточных частях.

Для представления МВДСП и качества получаемой информации о характере движения жидкостей при различных режимах наиболее представительной задачей является исследования структуры струи, вытекающей в затопленное пространство. Традиционное представление о гидродинамической структуре струи чаще всего базируется на обобщении результатов гидравлических экспериментов, которые позволяют строить эпюры осредненных значений скорости в поперечных сечениях струи. Эти представления включают: угол расширения струи в пределах $11^{\circ}40'' - 13^{\circ}20''$ и монотонно изменяющийся характер эпюры осредненных значений скорости в заданных поперечных сечениях [4].

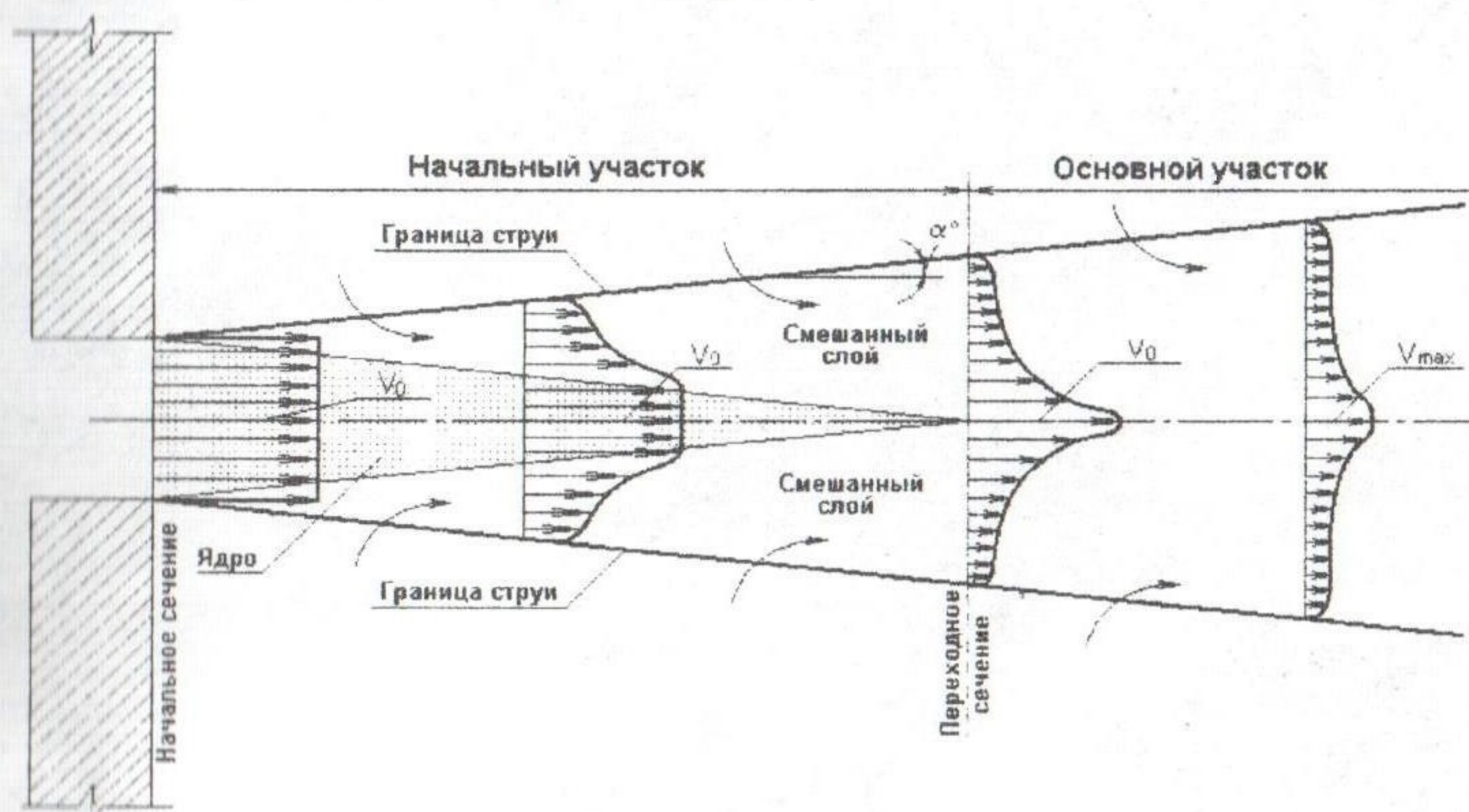
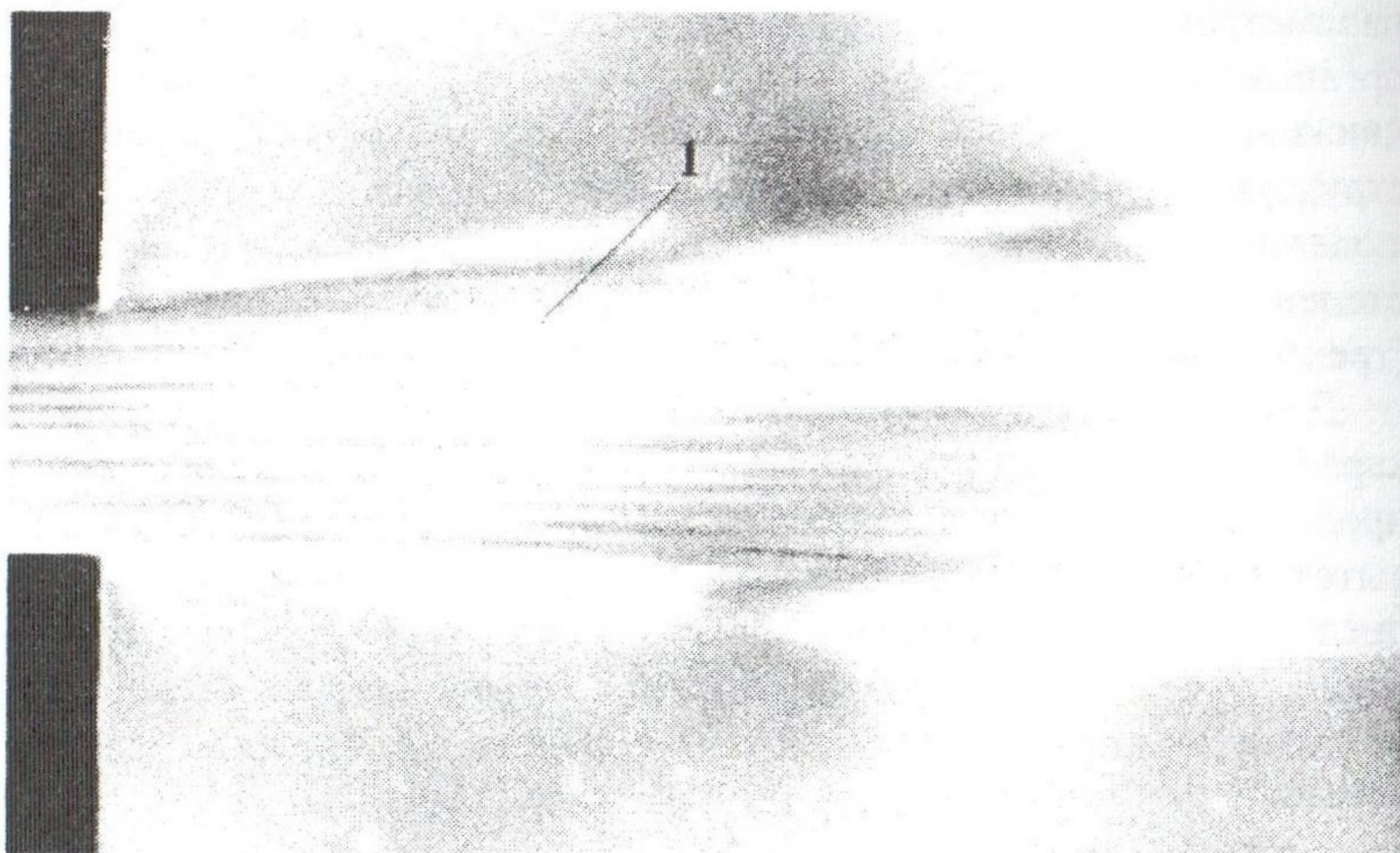


Рис. 2. Кинематическая структура струи на основе осредненных параметров.

Визуальные исследования структуры струи с использованием МВДСП при различных режимах течения показали высокий уровень организации ее структуры, как мелкомасштабных в поперечном сечении, так и крупномасштабных в продольном сечении.



$Re = 2100$



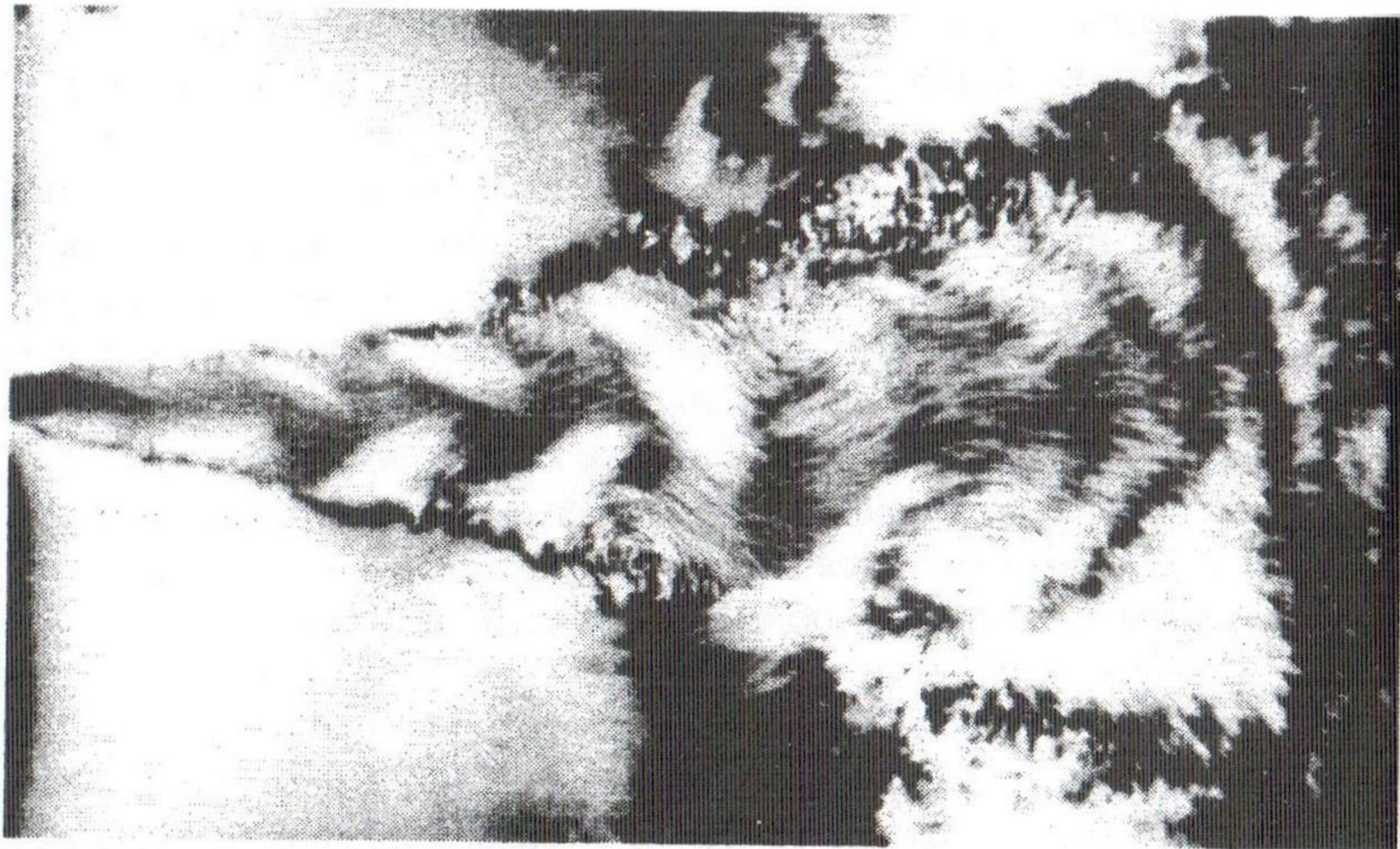
$Re = 2300$

Рис. 3 Визуальное изображение ламинарной струи

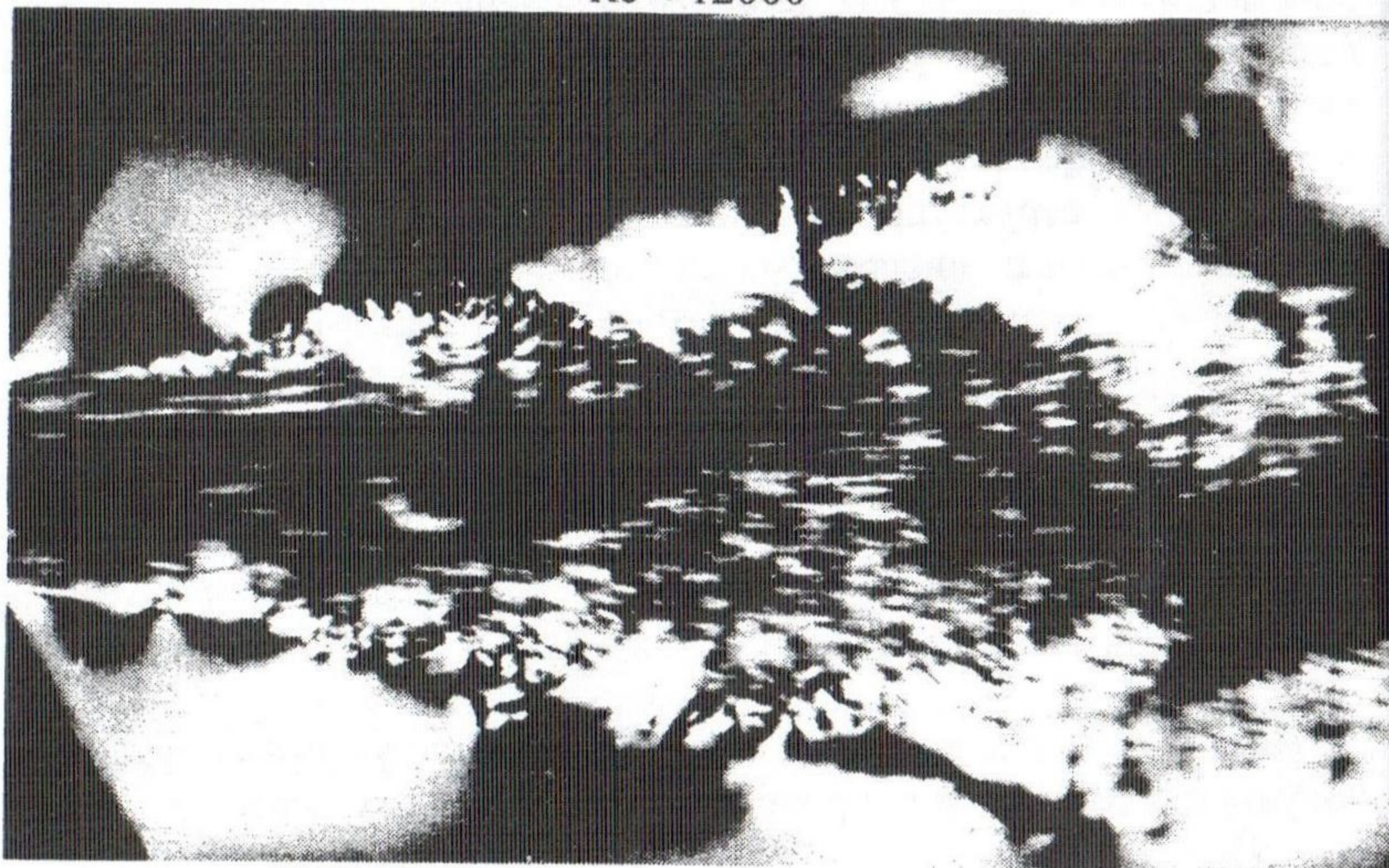
На изображении ламинарной струи видно чередование темных и светлых полос вдоль потока. Исходя из сопоставления полученных изображений с известными результатами гидродинамических исследований, а также исходя из описанной выше природы оптической плотности, интенсивность которой зависит от величины скорости, установлено, что на визуальной картине потока светлые области характеризуют величину реальной скорости большей, чем средняя скорость в данной области. И наоборот темные точки соответствуют меньшей скорости, чем средняя скорость в данной точке.

Таким образом, чередование светлых и темных полос на малых отрезках поперечного сечения свидетельствуют о том, что при ламинарном режиме в области светлой полосы потока скорость больше, чем в области темной полосы. Регулярность чередования полос (линий тока) и устойчивость их вдоль струи служит подтверждением правильности определения ламинарного режима как псевдослоистого течения, где слои с разной величиной скорости не перемешиваются. Тоновое изменение освещенности светлых и темных полос свидетельствуют о волновом характере распределения пульсационных компонент скорости в поперечном сечении потока и волновом характере распределения эпюры реальной скорости. Полученные структуры соответствуют классическому определению мелкомасштабных дискретных (когерентных) структур [5]. Однако, в отличие от размерных параметров микромасштабов по Тейлору $\lambda = \delta / R_\delta^{1/2}$ и по Колмогорову $\eta = \delta / R_\delta^{3/4}$, выявленный в проведенных опытах размер мелкомасштабной структуры в виде длины волны λ имеет реальное устойчивое во времени и пространстве значение $\lambda \approx 0,6$ мм в широком диапазоне чисел Рейнольдса как при ламинарном, так и при турбулентном режимах.

Визуальные исследования турбулентной струи позволили выявить новую информацию о природе крупномасштабных структур.



$Re \approx 12000$



$Re \approx 5000$ (дискретный участок)

Рис. 5 Визуальное изображение турбулентной струи

Авторами были проведены попытки обобщения информации о структуре струи, полученной визуальными и гидродинамическими исследованиями [3]. Однако из-за сложностей перехода от оптической информации с несимметричными результатами, к традиционному векторному представлению кинематической картины в виде эюр скорости, приемлемой только в симметричном представлении,

результаты обобщения требуют нового нетрадиционного представления.

Эволюционные изменения в структуре струи при ее движении в затопленном пространстве можно разделить на три участка:

1 - Дискретный участок струи 1 - участок от среза канала насадка до первой затемненной зоны, разделяющей поперек затопленное пространство. Дискретный участок имеет явно выраженные верхнюю и нижнюю границы струи с детерминированной структурой пограничного слоя в виде крупномасштабных структур - вихрей и «светлых областей».

2 - Квазидискретный участок расположен между двумя затемненными зонами, разделяющими поперек затопленное пространство, имеет неявно выраженную границу струи. Крупномасштабные оптически однородные области и вихри хотя и сохраняют регулярность, однако дискретность их разрушается.

3 - Бездискретный участок не имеет границы струи и области затопленного пространства. На некотором расстоянии еще могут сохраняться остаточные явления регулярности структуры струи, однако процессы взаимодействия струи и затопленного пространства полностью закончены.

Особый интерес представляет дискретный участок струи, так как только на этом участке выявленные светлые и темные области как в поперечном, так и в продольном направлении имеют регулярное и устойчивое расположение. Здесь можно исследовать не только распределение вихрей, расположенных вдоль границы струи, а также неизвестные ранее характерные оптически однородные «светлые области, дискретно и асимметрично расположенные вдоль пограничного слоя струи и ориентированные под углом $\approx 60^\circ$ к оси потока.

Крупномасштабные структуры в литературе чаще всего ассоциируют с вихрями, так как их существование можно выявить в потоках даже без специальной визуализации. Известно, что вихри являются диссипативными областями, где энергия потока безвозвратно теряется. Гидродинамические эксперименты показали, что «светлые области» являются ответственными за позитивное перераспределение энергии, направленное на попытку расширяющейся струи вернуться в рамки размеров канала, из которого струя вытекает. Расшифровка изображений визуализации структуры турбулентной струи, а также результаты гидродинамических исследований показали, что вихри являются следствием дискретной

Спеціальна державна академія
Судебництва та архітектури

643081

БІБЛІОТЕКА

организации «светлых областей» на начальном дискретном участке струи.

Выявленные новые закономерности организации структуры потоков, а также их анализ с помощью гидродинамических экспериментов позволили предложить новые решения многих традиционно трудно решаемых задач. Выявление закономерностей организации структуры потоков в поперечном и продольном сечениях позволяет обеспечивать оптимальное движение жидкостей и газов в проточных частях оборудования и существенно улучшать его энергетические, акустические, вибрационные и другие характеристики. Однако полученная новая информация о структуре потоков требует обобщения экспериментальных данных, переосмысления существующих представлений о турбулентности. Поиск терминов и объяснений полученных результатов необходимо искать на основе аналогий в других отраслях науки и природных явлений.

Литература

1. Бычков Ю.М. Визуализация тонких потоков несжимаемой жидкости. – Кишинев: Штиинца. 1980. С – 132.
2. Пат. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same / Maisotsenko V. S., Arsiri V. A. — Publ. 22.09.1998.
3. 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.
4. Справочник по гидравлике/ Под ред. В.А. Большакова. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984.-343 с.
5. Brian J. Cantwell. Organized motion in turbulent flow.-Ann. Rev. Fluid Mech. 1981, v. 13, pp. 457-515.