

## СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ

**Ярошевский В.П., Арсирий В.А., Арсирий Е.А.**

*(Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
Одесский национальный политехнический университет)*

*Результаты визуальных и гидродинамических исследований жидкостей и газов дают новую информацию о структуре и свойствах потоков, устойчивой в поперечном и продольном сечениях. Правильная организация структуры отдельных составляющих или компонентов может дать новое качество искусственно созданной системы.*

Целью конференции, если проанализировать название, является решение проблем прочности и разрушения композитных строительных материалов и конструкций с точки зрения структурообразования. В названии можно выделить два ключевых понятия: «композитные» материалы и конструкции и «структурообразование», то есть правильно организованная композиция или структура отдельных составляющих или элементов с заданными свойствами может дать новое качество искусственно созданной системы. Большая часть технологий получения строительных композитных материалов связана с жидкостью как с матричной компонентой, поэтому выявленные новые закономерности структурообразования жидких сред могут сыграть значительную роль для прогнозирования и формирования новых свойств композитных строительных материалов.

Необходимо признать, что в исследованиях процессов движения и формирования свойств различных сред до сих пор доминирует теория хаоса. Например, представления о процессах в текучих средах за несколько столетий изменились незначительно. Высказывание Леонардо да Винчи «... когда имеешь дело с водой, сначала сделай эксперимент, а потом рассуждай» мало отличается от риторического вопроса в Фейнмановских лекциях: "Существует физическая проблема, общая многим наукам: какое нужно давление, чтобы переместить в трубе заданное количество воды? И никто, основываясь на законах и свойствах воды, не ответит на этот вопрос".

За последние два столетия в исследованиях свойств различных сред и особенно процессов их движения сформированы три подхода: статистический, динамический и структурный. Статистический подход исходит из хаотичности процессов и предполагает определение вероятности проявления изучаемых свойств. Однако незнание основополагающих принципов формирования структуры и динамики процессов не позволяет применить результаты статистических исследований для решения практических задач. Современные модели процессов в текущих средах в большей мере основаны на результатах многочисленных и громоздких динамических исследованиях. Чаще всего это определение доступных для измерений зависимостей макро параметров отдельного оборудования как части системы.

В последнее время все большая роль отводится изучению структурных связей при различных проявлениях сред. Визуализация может дать основополагающие, ключевые представления о формировании свойств искусственно формируемых сред. Существует много методов визуализации, однако большая часть из них мало информативны, и даже высокоинформативные выявляет только некоторые аспекты исследуемых процессов [1]. Нередко это дает повод скептически воспринимать информацию, полученную в визуальных исследованиях. Визуальные исследования достаточно популярны, однако их результаты редко сопоставляют и согласуют с динамическими характеристиками, а иногда противопоставляют. В действительности же структурный и динамический подходы не конкуренты, и должны дополнять друг друга, поскольку каждый из них ориентирует на исследование особого типа связей. Необходимо объединить результаты изучения как структуры объекта (например, визуализации структуры потоков жидкостей при различных режимах течения) так и его динамики (когда предметом исследования выступают процессы движения – развития объекта). Структурные и динамические подходы не должны быть разделены, т.к. изучение структуры приводит к необходимости познания законов ее изменения, а изучение динамики (движения) приобретает строгий научный характер лишь тогда, когда в нем удается раскрыть структуру движущегося объекта и структуру самого процесса движения.

Использование структурных и динамических исследований требует разработки специальных объединяющих терминов и понятий о структуре и соответствующих таким структурным связям свойств различных сред и процессов.

*Структура* (лат. *structura* – строение, расположение), совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и

тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних проявлениях. В современной науке понятие структуры обычно соотносится с понятиями *системы* и *организации*. Под *системой* обычно рассматривают более широкое понятие, нежели структура, характеризующее множество проявлений некоторого сложного объекта (его элементы, строение связи, функции и т.д.). Структура же выражает лишь то, что остается устойчивым, относительно неизменным при различных преобразованиях системы. Под *организацией* в этом контексте понимают как структурные, так и динамические характеристики системы, обеспечивающие ее направленное функционирование.

На предыдущих конференциях уже были представлены результаты визуальных и гидродинамических исследований, которые показали новую информацию о структуре потоков жидкостей и газов [2]. Визуализация дает возможность выявлять распределение гидроаэродинамических параметров в виде полей скорости и давления, что позволяет преодолеть сложности и многофакторность гидродинамических исследований, и упростить решение прикладных задач

Для примера рассмотрим одну из старейших нерешенных задач классической физики – это представления или модели процессов движения жидкостей. Еще в 1880 году Д.И. Менделеев выявил существование двух резко различающихся режимов (типов) течений жидкостей, называемых в настоящее время ламинарным (упорядоченным) и турбулентным (беспорядочным, хаотичным). Первые представления о природе турбулентного, как самого распространенного типа течений, описаны в 1895г. Осборном Рейнольдсом, который представил значения всех гидродинамических величин в турбулентном течении в виде суммы осредненной (регулярной) и пульсационной (нерегулярной) составляющих.

Ламинарное течение (от лат. *lamina* - пластинка) – упорядоченный режим течения вязкой жидкости (или газа), характеризующимся отсутствием перемешивания между соседними слоями жидкости. На рис. 1 показан пример изображения ламинарной струи, вытекающей в затопленное пространство.

Современные представления о природе движения жидких сред сводятся к понятию турбулентность (от лат. *turbulentus* – беспорядочный) – сложное, неупорядоченное во времени и пространстве поведение диссипативной среды (или поля), детали которого не могут быть воспроизведены на больших интервалах

времени при сколь угодно точном задании начальных и граничных условий.

Последние десятилетия благодаря визуальным исследованиям структуры потоков получены результаты, которые характеризуют и ламинарное и турбулентное течения как упорядоченные и регулярные. Разработаны новые методы, позволяющие проводить структурный и динамический анализ процессов движения как ламинарных так и турбулентных потоков и изучения явлений турбулентности и механизмов ее возникновения.

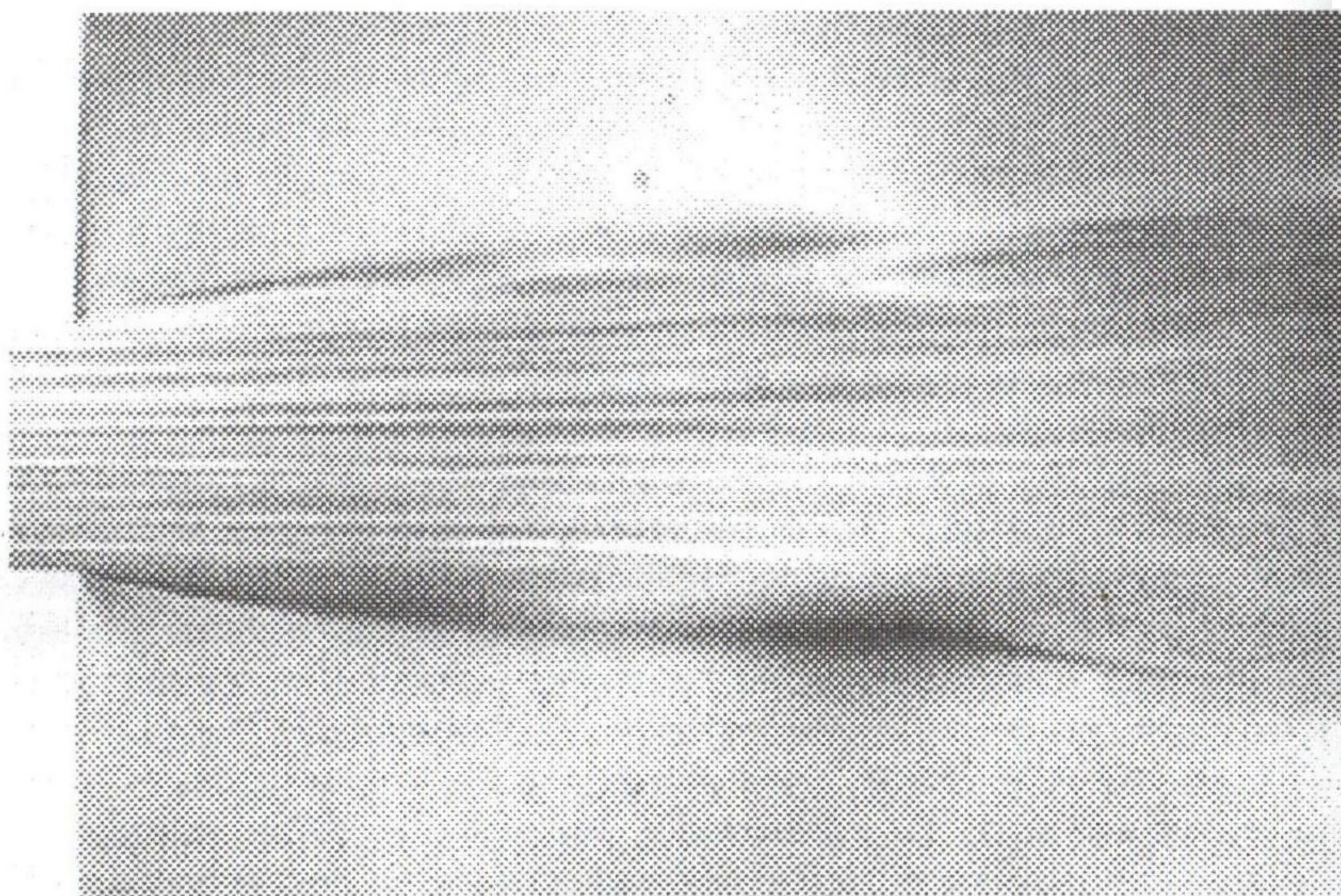


Рис. 1 Ламинарное течение ( $Re \approx 1800$ ).

На рис.2 представлены два варианта эшоры скоростей в поперечном сечении канала для ламинарного режима. На рис. 2.а показаны результаты осреднения во времени скоростей на основе динамического и статистического методов исследования. На рис. 2.б показаны эшоры реальных скоростей, построенных на основе структурных (визуальных см. рис.1) и гидродинамических исследований [ 2 ].

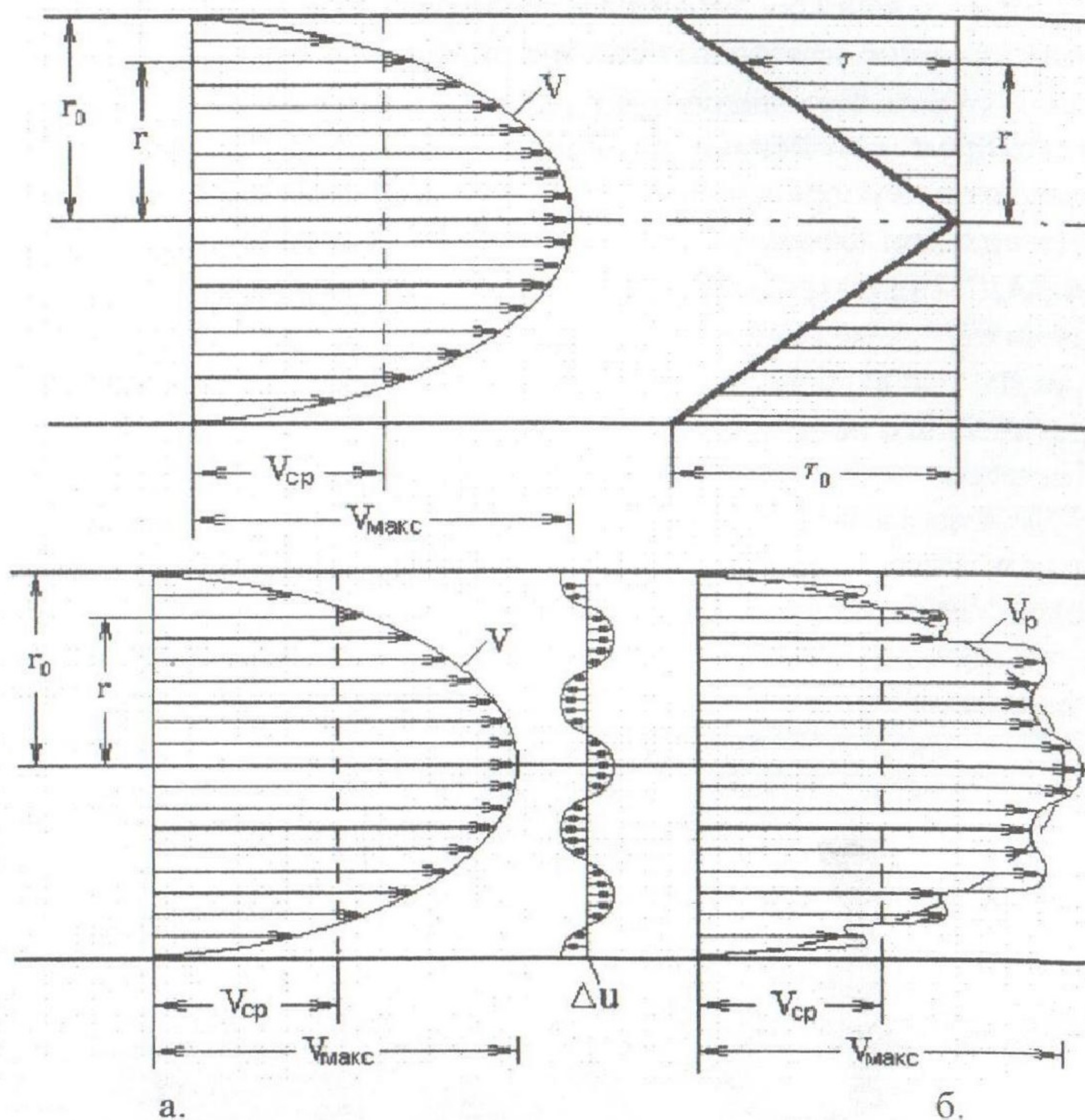


Рис. 2 Эпюры скоростей в поперечном сечении канала для ламинарного режима течения жидкости

Течение является ламинарным, если оно остается устойчивым, и не нарушаются от случайных возмущений. Результаты гидродинамических исследований, которые были разработаны по итогам визуальных исследований структуры потока жидкости, подтвердили слоистый и при этом волновой характер распределения компонент скорости не только в турбулентном, но и ламинарном режиме течения.

Именно визуальные исследования Рейнольдса показали, что переход от ламинарного движения к турбулентности может происходить как скачкообразно (ламинарное движение сразу сменяется турбулентным), так и в результате цепочки последовательных усложнений движения. Причем, переход от ламинарного режима к турбулентному проходит при однозначно прогнозируемых условиях, которые определяются числом Рейнольдса

(Re) При заданных линейных размерах этот переход определяет прогнозируемое отношение сил инерции (скорости) к силам вязкости. То есть существует такое критическое число Рейнольдса  $Re \approx 2320$ , при котором устойчивое ламинарное движение жидкостей и газов переходит в неупорядоченное турбулентное.

До сих пор феномен постоянства критического числа Рейнольдса  $Re \approx 2320$  – параметра, характеризующего изменение режима течения жидкостей, и имеющего постоянное значение при любых сочетаниях скорости, определяющих размерах и вязкости, не имеет теоретического обоснования

Начиная с 70-х годов, гипотеза хаотического характера турбулентности постепенно заменяется представлениями о наличии упорядоченных динамических детерминированных движений, определяющих конкретную структуру полей скорости (плотности). Это хорошо подтверждает визуальная картина структуры турбулентной струи.

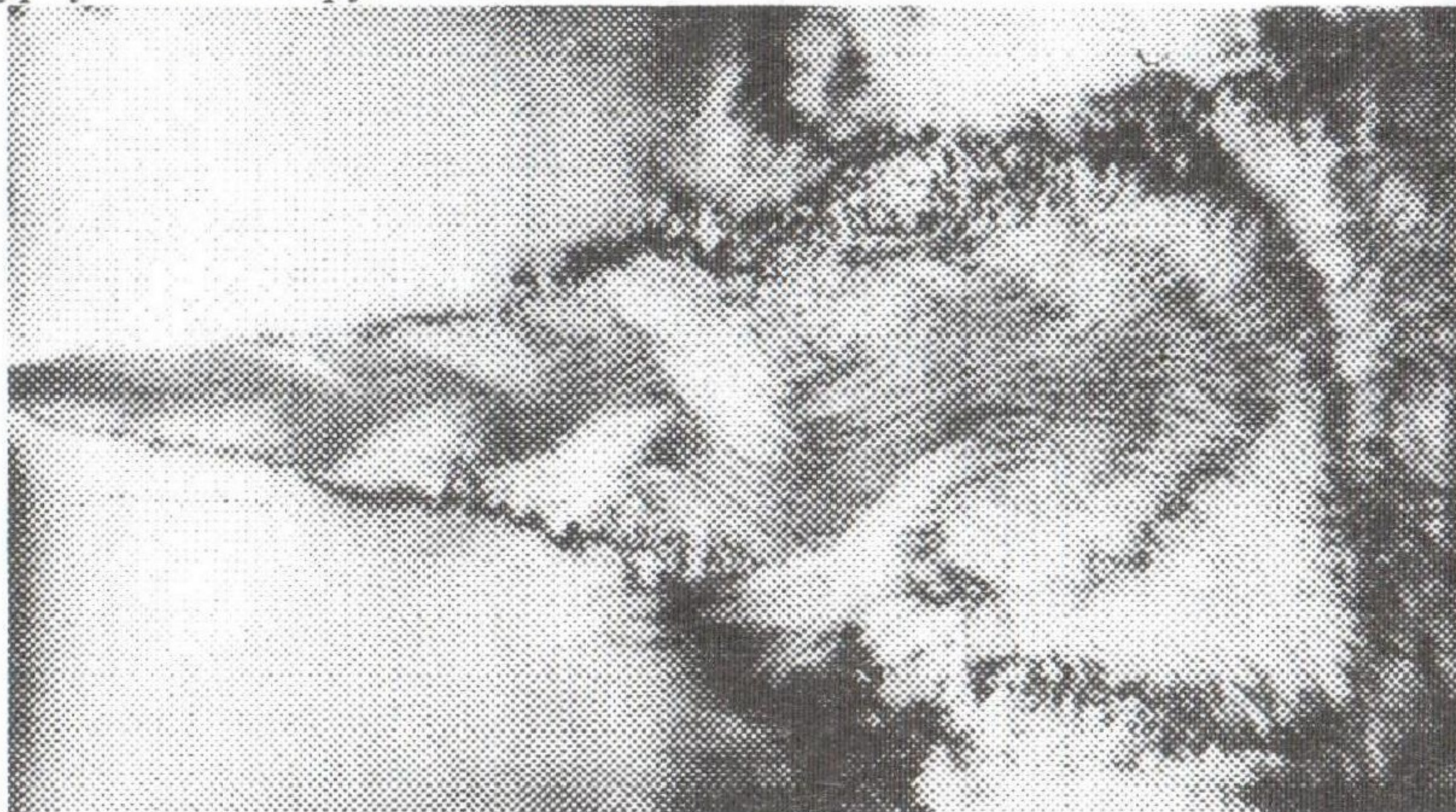


Рис. 3 Визуальная картина структуры турбулентной струи

В первую очередь необходимо исходить из того, что ламинарный и турбулентный режимы течений – это две связанные фазы различного структурного проявления одного явления – движения одной и той же жидкости, только при разных скоростях. Анализ визуальных картин показывает, что волновой характер распределения компонент скорости на рис. 1 является причиной интерференционных явлений в турбулентной струе и поэтому дискретное чередование оптически однородных светлых областей в начальном участке турбулентной струи на рис.3 является следствием этих интерференционных явлений.

Как ни удивительно, но основной математической моделью, описывающей течение жидкости, являются уравнения Навье-Стокса, которые он вывел в начале XIX века. Такое положение нельзя признать обычным, если принять во внимание доступность гидродинамики для эксперимента.

Понятие структуры употребляется в научных и философских исследованиях достаточно давно. В строгом смысле понятие структуры впервые развивается в химии в связи с возникновением теории химического строения вещества. В 1980 г. открытие т.н. перцептивных структур, которые относятся к воспринимаемому объекту в целом и не могут быть объяснены из свойств элементов, например свойства аккорда в музыке, свойства мелодии, сохраняемые при транспозиции, т.е. при изменении тональности.

Структурный подход к исследованию различных систем может выступать в качестве способа определения формы, взаимосвязи отдельных элементов или компонент и самое главное можно ставить задачу правильно организовать композицию или структуру отдельных составляющих или элементов с заданными свойствами, что может дать новое качество искусственно созданной системы.

#### **Литература**

1. Альбом течений жидкости и газа: А.56. Пер с англ./ Сост М. Ван Дейк.– М.: Мир. 1986.– 184 С.  
Арсірій В.А. Арсірій Е.А Оптимізація проточних частей потоків на основі візуальної діагностики потоків Вісник ОДАБА, №19, 2005 С. 3 – 7