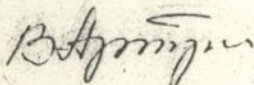


ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи



Арсений Василий Анатольевич

**РАЗРАБОТКА ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ**

05.23.04 "Водоснабжение, канализация"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1996

28.1
28.2

Диссертация является р
Работа выполнена в Од
строитель



00360356 (N)

Научный руководитель доктор технических наук
профессор Майсоценко В.С.

Официальные оппоненты доктор технических наук
профессор Лямаев Б.Ф.
кандидат технических наук
доцент Нелюбов В.А.

Ведущая организация АП Одесводоканал

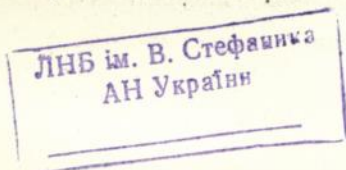
Защита состоится " 28 " июня 1996 года в 10 часов
на заседании специализированного совета К 05.09.01 в Одесской
государственной академии строительства и архитектуры по адресу:
270004, г. Одесса, ул. Дидрихсона 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Одесской государственной академии строительства и архитектуры
по адресу: 270004, г. Одесса, ул. Дидрихсона 4.

Автореферат разослан " 28 " мая 1996 года.

Ученый секретарь специализированного
ученого совета, к.т.н., доцент

Реброва Реброва В.В.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения связана со значительными энергетическими затратами: Большая часть из них приходится на потери напора при движении воды. Несовершенство существующих методов конструирования проточных частей оборудования этих систем обусловлено тем, что прозрачность воды является серьезным препятствием при исследовании организованных структур потоков. Актуальным является разработка методов конструирования оборудования водоснабжения и водоотведения, основанных на знании законов организации структуры потоков, что позволит существенно снизить энергозатраты этих систем.

Автор защищает технологию конструирования проточных частей оборудования водоснабжения и водоотведения на основе анализа структуры потоков жидкости.

Цель работы: разработка методов исследования структуры потоков и выявление закономерностей организации структуры движущихся жидкостей.

Методами исследований являются: метод визуализации дискретных структур потоков, математическая обработка визуальных картин с целью исследования закономерностей организации структуры потоков, акустические исследования пульсаций давления (скорости) жидкости в каналах разной геометрии и гидравлические исследования влияния организованных структур на энергетические характеристики движения жидкостей.

Научная новизна работы. Комплекс визуальных, спектральных и гидравлических исследований потоков жидкостей позволил выявить:

- поперечные дискретные структуры (поперечные волны) потоков;
- продольные дискретные структуры (продольные волны) потоков.

Определено влияние поперечных и продольных дискретных структур потоков на энергетические характеристики движения жидкостей.

Практическая ценность работы:

- разработан метод визуализации структуры потоков жидкости;
- изучена организация поперечных дискретных структур потоков;
- изучена организация продольных дискретных структур потоков;
- разработана технология конструирования проточных частей оборудования с оптимизацией их формы и геометрии на основе выявленных организованных структур потоков жидкостей.

Теоретическая ценность работы:

- разработана модель волнового характера распределения пульсационных компонент скорости в поперечном сечении потоков.

Внедрение результатов. Разработанная технология конструирования используется в научно-исследовательских работах по программе ГКНТ Украины "Энергосбережение", а также применена в Харьковском конструкторском бюро машиностроения им. Морозова при модернизации элементов эжекционной системы.

Разработаны трубопровод переменного сечения, а также расходомер для систем водоснабжения и канализации, которые переданы для реализации в Одесводоканал г. Одессы.

Апробация работы. Результаты работы доложены на 7 научных конференциях, а также на конференциях ОГАСА 1988-1995 гг.

Достоверность результатов подтверждена заключением о сравнительных испытаниях разработанного по предлагаемой технологии расходомера для систем вод. снабжения и канализации и расходомера типа Труба Вентури от Международной метрологической поверочной станции "COLORADO ENGINEERING EXPERIMENT STATION INC", в котором зарегистрировано снижение потерь напора в разработанном расходомере на 65%. Испытания труб переменного сечения на образцовых стендах Одесводоканала показали снижение потерь напора по сравнению с трубопроводами эквивалентного диаметра на 10 - 30%.

Личный вклад диссертанта. Разработан метод визуализации, позволяющий выявлять структуру потоков жидкости. Проведены визуальные и гидравлические исследования, позволившие выявить поперечные и продольные дискретные структуры потоков, определить закономерности их организации. Разработана технология конструирования проточных частей оборудования с оптимизацией их формы и геометрии на основе выявленных дискретных структур потоков. Разработана модель волнового характера распределения пульсационных компонент скорости в поперечном сечении потоков.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 6 печатных работах, из них 2 международных патента и 1 патент СНГ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 145 страниц из них 6 таблиц, 40 рисунков, 128 наименований литературы и 2 приложения.

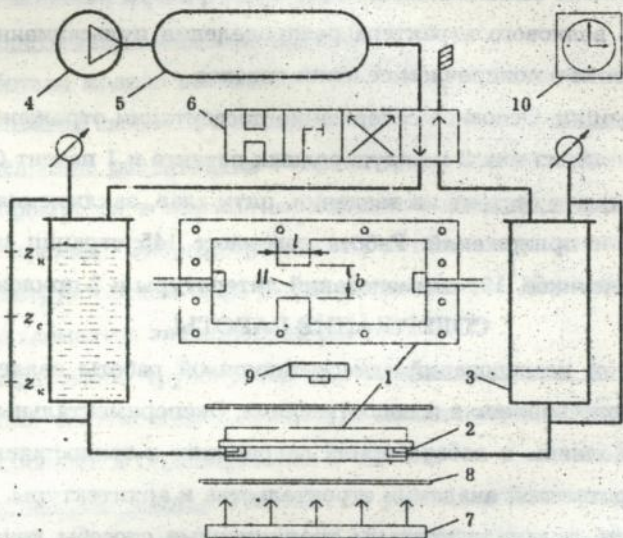
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объектом исследований диссертационной работы является оборудование водоснабжения и водоотведения. Экспериментальные исследования выполнены в лабораториях гидравлики и теплофизики Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

В работе проанализированы традиционные способы конструирования гидравлического оборудования. Обоснована перспективность конструирования проточных частей оборудования водоснабжения и водоотведения с использованием законов организации структуры потоков. Приведен обзор исследований организации структур потоков. Описаны оптические методы визуализации, дан их краткий анализ.

Для проведения исследований разработан метод визуализации структуры потоков жидкости. Моделирование потоков выполнялось на экспериментальном стенде (рис. 1) оптически активной жидкостью, свойства которой соответствуют реальным потокам. При движении жидкости в исследуемом канале эллипсоидные частицы оптически ак-

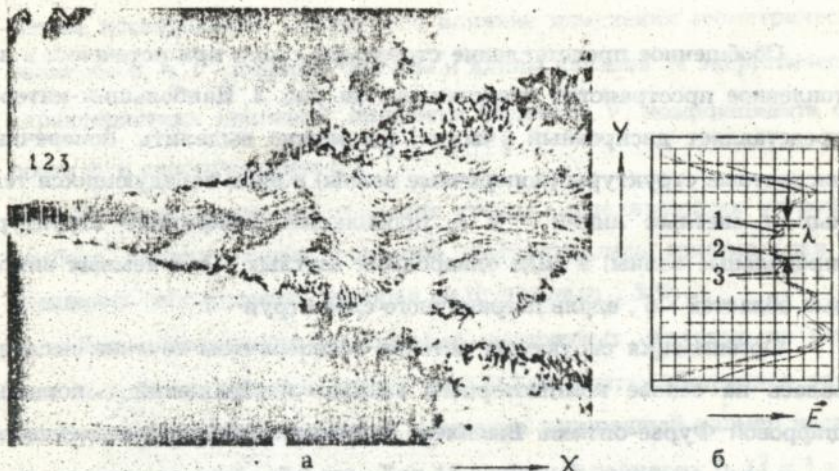
тивных добавок (коллоидный раствор оксида ванадия V) ориентируются в потоке в зависимости от градиентов скорости. При освещении поляризованным светом в каждой точке потока происходит изменение оптической плотности. Полученные визуальные картины фоторегистрируются. По интенсивности освещенности на изображении можно судить о структуре потока, характере процессов в проточных частях реальных энергетических объектов.



- 1 - моделирующее устройство; 2 - плиты; 3 - бак жидкости; 4 - компрессор;
5 - ресивер; 6 - пневмораспределитель; 7 - источник света; 8 - поляриод;
9 - фотоприбор; 10 - секундомер; 11 - канал насадка.

Рис. 1 Схема экспериментального стенда.

Фотографии структуры потоков вводились в компьютер с помощью сканера, различающего 256 оттенков серого цвета, в виде матриц оцифрованных изображений (рис. 2а). Исследования более 200 изображений струи, истекающей в затопленное пространство, показали организованность (дискретность) структуры потоков жидкости как в поперечном, так и в продольном сечениях.



а - изображение струи в затопленном пространстве;
 б - распределение оптической плотности в поперечном сечении струи
 Рис. 2 Визуальная картина истечения струи
 в затопленное пространство.



1 - турбулентная струя; 2 - канал; 3 - затопленное пространство; 4 - поперечные дискретные структуры; 5 - продольные дискретные структуры (светлые области); 6 - вихревые (диссипативные) области; 7 - пограничный слой;

Рис. 3 Обобщенное представление истечения струи
 в затопленное пространство

Обобщенное представление структуры струи при истечении в затопленное пространство представлено на рис. 3. Наибольший интерес представляет дискретный участок, где можно выделить: поперечные дискретные структуры (поперечные волны) в виде чередующихся темных и светлых линий - 4 и продольные дискретные структуры (продольные волны) в виде однородных светлых - 5 и темных вихревых областей - 6, вдоль пограничного слоя струи - 7.

Организация структуры потоков в поперечном сечении исследовалась на основе компьютерного анализа изображений с помощью цифровой Фурье-оптики. Выявлено гармоническое распределение оптической плотности \bar{E} (рис. 2.6), что свидетельствует о волновом характере распределения пульсационных компонент (градиентов) скорости в поперечном сечении потоков по оси Y .

Закономерность распределения продольных дискретных структур потоков по оси X (на основе аппроксимации статистических данных расположения их в структуре струи) представлена следующим аналитическим выражением:

$$L_{t,b} = \begin{cases} L_t = 11,87 \times n^{1,15} \\ L_b = 14,39 \times n^{1,1} \end{cases} \quad (1)$$

где $L_{(t,b)}$ - расстояние от среза сопла до асимметрично расположенных продольных дискретных структур в пределах верхнего (t) и нижнего (b) соответственно пограничных слоев (см. рис 8а);

n - номер верхних и нижних продольных дискретных структур.

С помощью датчиков давления ЛХ-417 и анализатора спектра СК-1-56 исследованы амплитудно-частотные характеристики потоков в каналах разного профиля. Определено влияние продольных дискретных структур на спектры пульсаций в потоке.

Для подтверждения организованности структуры потоков, выявленной при прямых визуальных исследованиях, проведены гидравли-

ческие исследования. Определено влияние изменения геометрических размеров b , h , l - ширины, высоты и длины каналов на энергетические характеристики движения жидкости (скорости V , коэффициента скорости ϕ и сопротивления ζ).

На всех этапах изготовления стенда, моделирующих устройств, подбора измерительных приборов обеспечивалась минимальная погрешность эксперимента, которая не превышала 1,5 %.

Для исследования поперечных дискретных структур по оси Y был выбран насадок (см. рис. 1 поз. 11.) В опытах изменялся только один геометрический параметр, а именно поперечный размер насадка b_i в диапазоне 1,5 - 6,0 мм. Для 48 значений размеров b_i ($i = 1 + 48$) определялись зависимости вида $\phi = f(Re)$, а также $V_i = f(P_H)$, где V_i - среднерасходная скорость движения жидкости в канале b_i ; P_H - давление жидкости в напорном коллекторе. Для 48-ми зависимостей указанного выше вида построены обобщающие зависимости:

$$\phi = f(b_i/h) \text{ при } Re \geq 10^4; h = \text{const} \quad (2)$$

$$V = f(b_i/h) \text{ при } P_H = \text{const}, h = \text{const} \quad (3)$$

Известно, что линейному изменению поперечного размера канала соответствует монотонное изменение гидравлических параметров. Полученные данные опровергают это положение. На рис. 4 представлен отличающийся от традиционного волновой характер зависимостей 2; 3. Изменению ширины насадка b_i в диапазоне 1,5 - 6,0 мм соответствует волновое изменение величины коэффициента скорости ϕ при $Re \geq 10^4$, а также волновой характер изменения среднерасходной скорости V_i при фиксированном значении давления $P_H = 10^5$.

На рис. 4 расстояние между двумя ближайшими точками, находящимися в одинаковой фазе пространственного периода волнового

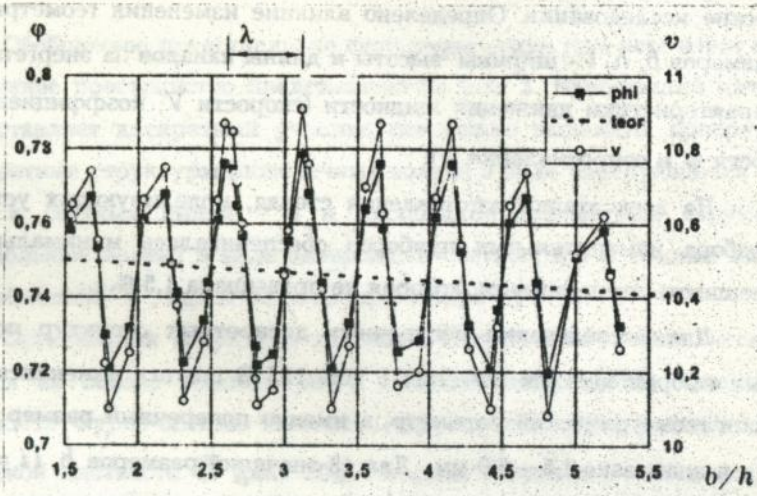
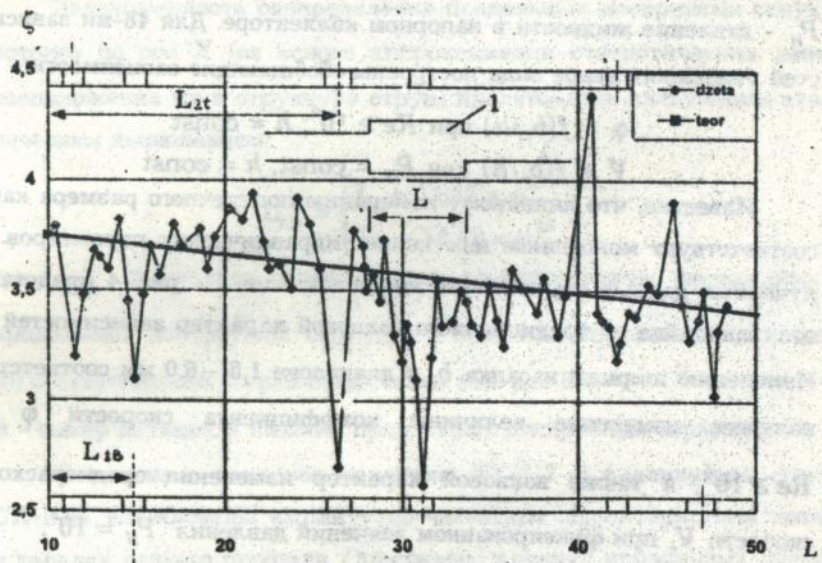


Рис. 4 Влияние поперечных размеров каналов на энергетические характеристики потоков.



1- профиль канала моделирующего устройства

Рис. 5 Влияние продольных размеров каналов на энергетические характеристики потоков.

процесса, определяет значение длины волны $\bar{\lambda}$ изменения величины скорости потока в поперечном сечении канала.

Для определения влияния продольных дискретных структур по оси X на энергетические характеристики движения жидкости в каналах сложной формы исследовалась зависимость $\zeta_i = f(l_i)$ в моделирующем устройстве (см. рис. 5 поз.1), в котором изменялась длина расширенного участка l , расположенного между двумя сопротивлениями внезапным расширением и сужением.

Так же, как и в предыдущей серии опытов, для полученных 75 зависимостей $\zeta_i = f(Re)$ при $l_i = \text{const}$ ($i = 1 + 75$) построена (рис. 5) обобщающая зависимость

$$\zeta = f(l_i) \text{ при } Pe \geq 10^4 \quad (4)$$

Из данных экспериментов, представленных на рис. 5, видно, что сопротивления каналов, рассчитанные по традиционным формулам, дают осредненные значения. В тех случаях, когда длина расширенного участка определена с учетом продольных дискретных структур ($l = 26,4$ мм и $l = 31,2$ мм), величина суммарного гидравлического сопротивления канала составила $\zeta = 2,57$ и $\zeta = 2,56$, что на 27% меньше рассчитанных по формулам. В канале, где длина расширенного участка определена без учета продольных дискретных структур ($l = 40,7$ мм), величина гидравлического сопротивления канала составила $\zeta = 4,4$, что на 29% больше рассчитанной величины.

Для объяснения полученных экспериментальных данных разработан модель волнового характера распределения пульсационных компонент скорости в поперечном сечении потоков жидкости.

Известна модель Рейнольдса представления мгновенных значений параметров потоков через осредненные и пульсационные составляющие. Однако в инженерных расчетах применяют уравнение Бер-

нулли, в котором используются только осредненные величины гидравлических параметров. Это уравнение описывает макроуровень физических процессов при движении жидкостей.

Исследования последних 30 лет в области турбулентности показывают, что микродвижения в "турбулентном хаосе" существенно детерминированы. Проведенные в диссертационной работе визуальные и гидравлические исследования показали, что микроуровень движения жидкостей имеет организованную структуру и оказывает существенное влияние на энергетические характеристики потоков.

Для описания движения жидкости воспользуемся моделью Рейнольдса. В каждой точке потока реальные скорости потока \bar{W}_i представим в виде суммы двух частей:

$$\bar{W}_i = \bar{V} + \bar{U}_i \quad (5)$$

\bar{V} - осредненная скорость потока в поперечном сечении канала (характеризует макроуровень движения жидкости, когда в исследуемом поперечном сечении канала векторная сумма пульсационных компонент скорости равна нулю);

Чтобы учесть выявленную дискретность структуры в поперечном сечении, значения пульсационных компонент скорости представим в векторной форме \bar{U}_i .

На рис. 6 показано векторное представление макро- и микроуровня кинематической картины течения жидкости в канале по координатам x, z : В поперечном сечении канала по координате z расположено целое число длин волн, то есть поперечные размеры канала d (диаметр канала) подобраны так, что $d = n \times \bar{\lambda}$, где $n = |d/\bar{\lambda}|$ - целая часть отношения поперечного размера канала d к величине длины волны $\bar{\lambda}$. Волновые фронты поля пульсационных компонент скорости, разность фаз между которыми равна $\bar{\lambda}/2$, гасят друг друга. В данном

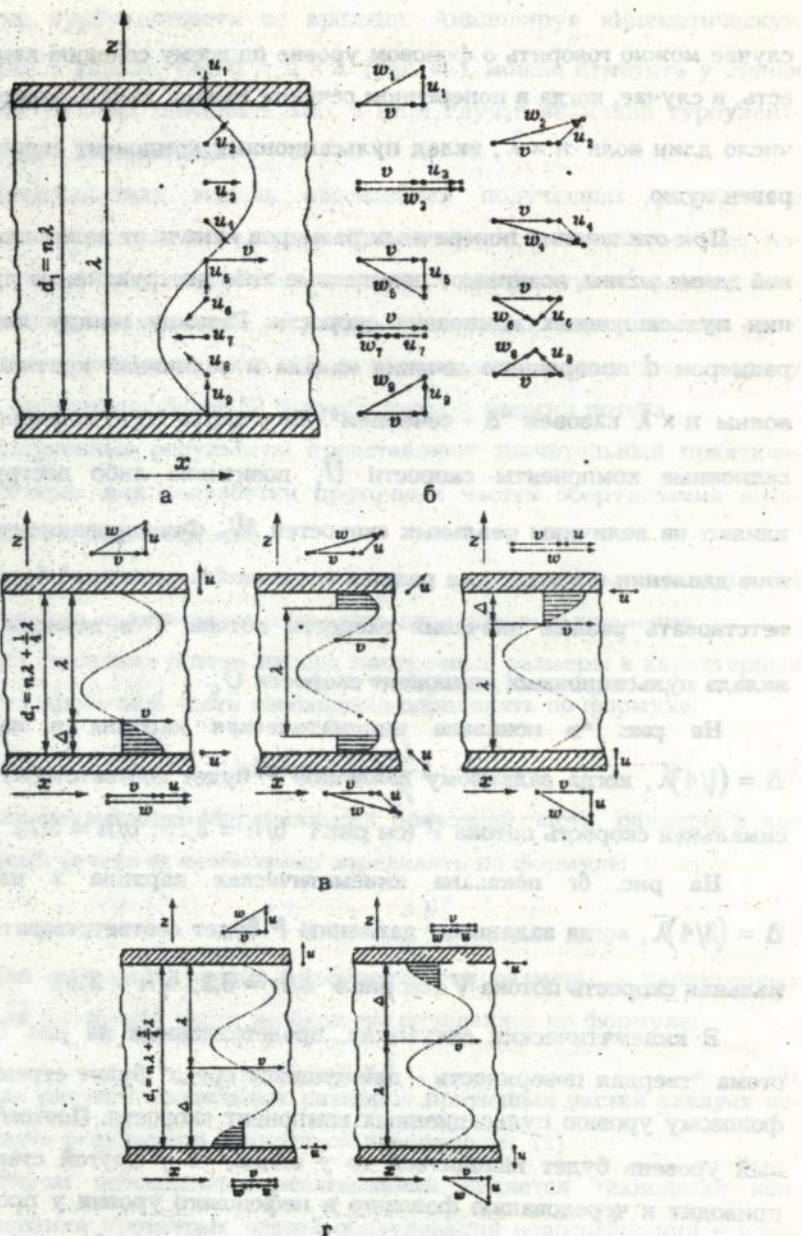


Рис. 6 Кинематическая картина течения жидкости в поперечном сечении канала

случае можно говорить о фоновом уровне по всему сечению канала. То есть, в случае, когда в поперечном сечении канала укладывается целое число длин волн $n \times \bar{\lambda}$, вклад пульсационных компонент скорости \bar{U}_i равен нулю.

При отклонении поперечных размеров канала от величины, кратной длине волны, возникают позитивные либо деструктивные проявления пульсационных компонент скорости. Разницу между линейным размером d поперечного сечения канала и величиной кратной длине волны $n \times \bar{\lambda}$ назовем "Δ - сечением". На участке "Δ - сечения" пульсационные компоненты скорости \bar{U}_i позитивно либо деструктивно влияют на величины реальных скоростей \bar{W}_i . Фиксированному значению давления в канале для разных величин "Δ - сечения" будут соответствовать разные значения скорости потока V в зависимости от вклада пульсационных компонент скорости \bar{U}_i .

На рис. 6в показана кинематическая картина в канале с $\Delta = (1/4)\bar{\lambda}$, когда заданному давлению P будет соответствовать максимальная скорость потока V (см рис.4 $b/h = 3,15$; $b/h = 3,7$).

На рис. 6г показана кинематическая картина в канале с $\Delta = (3/4)\bar{\lambda}$, когда заданному давлению P будет соответствовать минимальная скорость потока V (см рис.4 $b/h = 3,3$; $b/h = 3,4$).

В кинематических ситуациях, представленных на рис. 6в,г, система "твердая поверхность - движущаяся среда" будет стремиться к фоновому уровню пульсационных компонент скорости. Поэтому фоновый уровень будет находиться то у одной, то у другой стенок. Это приводит к чередованию фонового и нефонового уровня у противоположных стенок, что может быть источником пульсаций в пограничном слое и, вероятно, является причиной неустойчивости организованных

структур турбулентности во времени. Анализируя кинематическую ситуацию в канале, где $d = n \times \bar{\lambda}$ (рис. 6а), можно отметить у стенок фоновый уровень, следовательно, в этом случае величина турбулентности будет минимальной.

Предложенная модель обоснования полученных результатов основана на модели осреднения Рейнольдса, согласуется с уже известными данными: о волновом характере эпюры пульсационной скорости в пограничном слое; регулярных всплесках в пограничном слое; известными выводами, что 5% турбулентного пограничного слоя у стенки генерируют более 50 % турбулентной энергии потока.

Полученные результаты представляют значительный практический интерес для разработки проточных частей оборудования водоснабжения и водоотведения.

С целью определения оптимальных размеров проточных частей оборудования предлагается проводить следующие вычисления:

для снижения потерь напора поперечные размеры в характерных сечениях проточной части необходимо определять по формуле:

$$d = n \times \bar{\lambda} + \frac{1}{4} \bar{\lambda}, \quad (6)$$

для увеличения сопротивления проточной части, размеры в характерных сечениях необходимо определять по формуле:

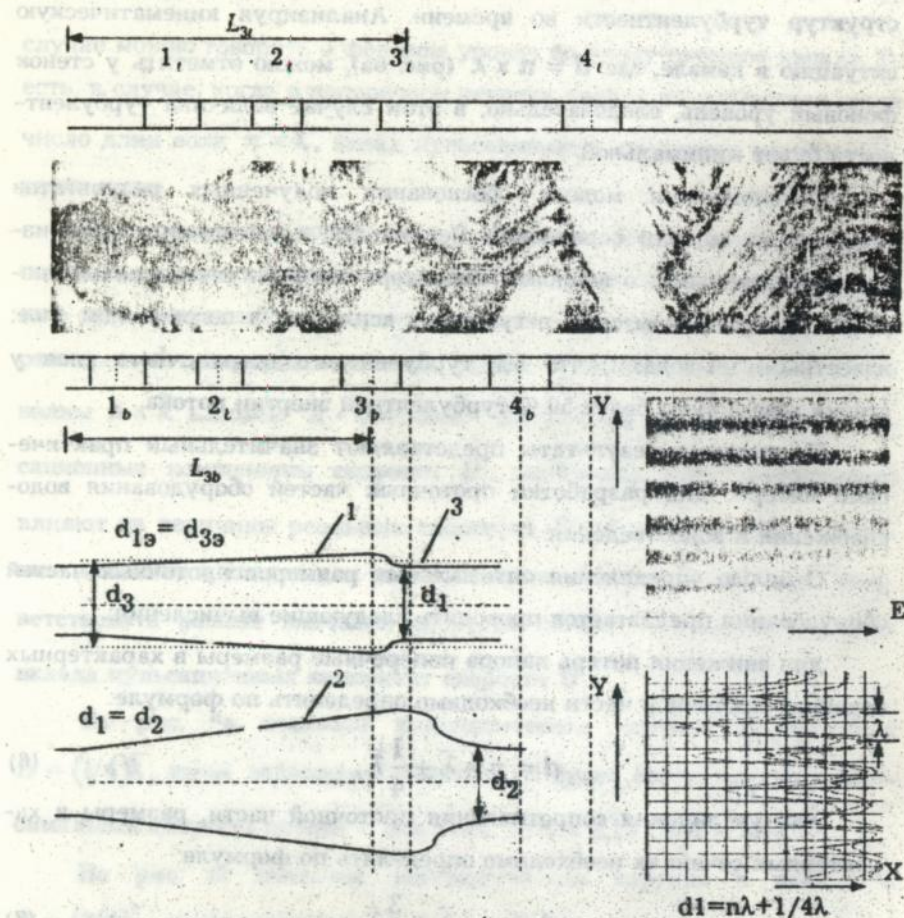
$$d = n \times \bar{\lambda} + \frac{3}{4} \bar{\lambda}, \quad (7)$$

Для снижения уровня турбулентности размеры в характерных сечениях проточной части необходимо определять по формуле:

$$d = n \times \bar{\lambda}, \quad (8)$$

для расчета продольных размеров проточных частей следует использовать результаты полученной зависимости (1).

Итогом проведенных исследований является технология конструирования проточных частей оборудования водоснабжения и водоотведения в виде выполнения следующих мероприятий (рис. 7):



$1_t, \dots, 4_t$ - номера верхних продольных дискретных структур

$1_b, \dots, 4_b$ - номера нижних продольных дискретных структур

L_{2a}, L_{3a} - расстояние от среза сопла до I продольной дискретной структуры, верхней и нижней соответственно.

1- профиль трубопровода переменного сечения, построенного на основе разработанного метода конструирования;

2- профиль трубопровода переменного сечения, построенного на основе А.с. № 622993;

3- профиль традиционного трубопровода эквивалентного диаметра;

Рис. 7 Технология конструирования проточной части трубопровода переменного сечения.

- разработки устройства для моделирования и визуализации движения потока в характерных сечениях конструируемого оборудования;
- исследования организованных структур потока на основе полученных визуальных картин движения жидкости;
- разработки геометрических параметров конструируемого оборудования с учетом организации структуры потока в его проточной части.

В качестве примера использования предложенной методики описаны мероприятия конструирования проточной части канала трубопровода переменного сечения. На основании визуальной картины структуры струи в затопленном пространстве выделены и определены закономерности распределения поперечных и продольных дискретных структур.

На рис 7 п.1 показан профиль проточной части трубопровода, построенный с учетом дискретных структур; п.2 - профиль, построенный на основе известного а.с. № 622993 (без учета дискретных структур), п.3 - традиционный цилиндрический канал с диаметром, соответствующим эквивалентному диаметру трубопровода, построенного с помощью разработанной технологии конструирования.

На графике зависимости гидравлического коэффициента трения $\lambda = f(Re)$ (рис. 8) представлены результаты экспериментальных исследований трубопроводов с профилями проточных частей, показанными на Рис. 7, а также теоретическая кривая, построенная по формуле Блазиуса $\lambda = 0,3164/Re^{0,25}$.

Из графика видно, что предложенная технология конструирования позволяет разрабатывать более эффективные проточные части оборудования водоснабжения и водоотведения, чем известные.

Так, например, трубы переменного сечения № 31, 47, 61А, разработанные с учетом дискретных структур, имеют величины гидравли-

ческого коэффициента трения λ на 10 - 30% меньше, чем у традиционных трубопроводов (см теоретическую кривую, а также трубу № 25).

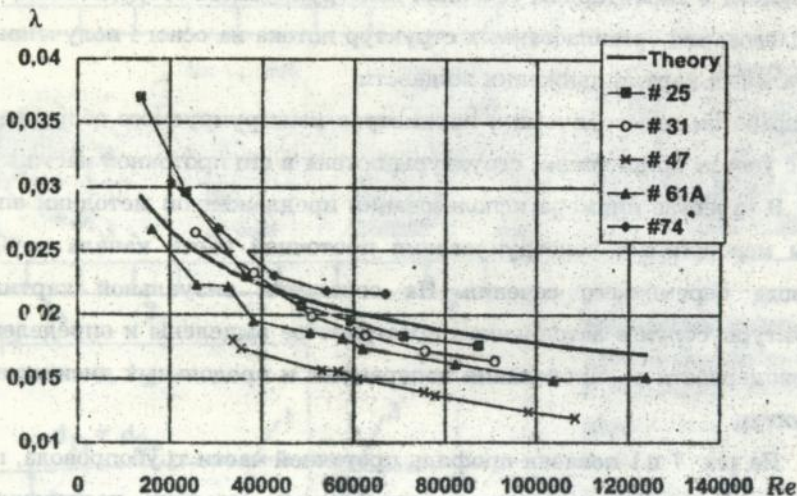


Рис. 8 Результаты исследований гидравлического коэффициента трения в трубопроводах

При этих же условиях в трубе переменного сечения, разработанной по а.с. № 622993 (без учета дискретных структур), величина гидравлического коэффициента трения λ трубы № 74 на 2-8% больше, чем у труб традиционного профиля.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали высокую степень организованности структуры движения жидкостей, выявили поперечные и продольные дискретные структуры потоков в широком диапазоне чисел Рейнольдса ($Re = 2 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^5$).

Линейные характеристики поперечных и продольных дискретных структур потоков в исследованном диапазоне гидравлических и геометрических параметров сохраняют постоянные значения, что позволяет использовать их в практических инженерных разработках.

Доказано, что выявленные организованные структуры оказывают существенное влияние на энергетические характеристики потоков (в поперечном сечении 5-15%; в продольном - более 20%).

Результаты диссертационной работы показали эффективность использования законов организации структуры потоков при проектировании проточных частей оборудования водоснабжения и водоотведения, что позволяет существенно улучшить их энергетические и эксплуатационные характеристики.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Арсирый В.А. Струйный аппарат.//Патент №2003847. МКИ 5 F04F5/48 Опубл. 30.11.93 в БИ № 43-44
2. Maisotsenko Valery S., Arsiri Vassili A. Method of determining for working media motion. WO 95/12160. G06F 7/57, G02B 6/10. Publ. 04.05.1995.
3. Maisotsenko Valery S., Arsiri Vassili A. Method of restricted space formation for working media motion. WO 95/18419. G06G 7/57, F15D 1/02. Publ. 06.07.1995.
4. Арсирый В.А. Организованные структуры турбулентных потоков. //Доклады научно-технической конфер. ОГАСА.Одесса. 1994.
5. Арсирый В.А. Майсоценко В.С. Арсирый Е.А. Визуальные исследования структуры потоков.// Тез. докл. Междунар. конфер. "Оптические методы исследования потоков". Москва. 1995 г.
6. Арсирый В.А. Арсирый Е.А. Власенко В.А. Метод и информационная технология визуализации и моделирования волновых явлений в задачах НРК регулярности структур потоков массопереноса.//Материали доповідей науково-технічної конференції, "Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів" Київ-Львів.1996р.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Арсирій В.А. Розробка проточних частин обладнання водопостачання та водовідведення на підставах зчалізу структури потоків рідини.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.23.04 " Водопостачання, каналізація". Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 1996.

Захищається дисертація, в якій подані нові методи та результати візуальних, акустичних та гідравлічних досліджень дискретних структур потоків рідини. На підставах здобутих результатів розроблена технологія конструювання проточних частин обладнання водопостачання та водовідведення з покращеними енергетичними та експлуатаційними характеристиками.

Arsiri. V.A. Elaboration of run-through parts of water-supplying and water-draining installations on the basis of an analysis of fluid streams' structure.

A thesis on the grade of candidate of technical sciences. Speciality 05.23.04 "Water supplying and canalization". Odessa State Academy of Construction and Architecture. Odesa, 1996.

The thesis being defended presents the methods and results of the visual and hydraulic investigation on the organized (discret) structures in flowing fluids. The obtained results allow develop the technology of constructing the run-through parts of water-supplying and draining appliances with improved energetic and exploitational characteristics.

ВИЗУАЛІЗАЦІЯ, ПОПЕРЕЧНІ І ПРОДОЛЬНІ ДИСКРЕТНІ СТРУКТУРИ ПОТОКІВ, ПРОТОЧНА ЧАСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

Полн. и. листы 23.05.96. Формат 60x84 1/16.
Объем 0,35 уч. изд. в 4.0 л. и. Цена 3 200 Э. Тираж ЮССага
Гортиграффия Слесского управления и печати, цех 3.
Л. № 40.

283875

AB 35.153

AB 35.153