

ДИСКРЕТНЫЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВОДНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА

Арсирий В.А.¹ д.т.н, проф. Арсирий Е.А.² к.т.н., доц.,
Баннур Тамер,¹ асп¹

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

²Одесский национальный политехнический университет, Украина

Цель исследований – улучшение показателей работы охладителей воздуха с щелевыми каналами и смачиваемой поверхностью. Практическое использование результатов визуальных исследований дискретных структур потоков позволяет при заданных условиях существенно увеличить расход в теплообменниках, а также увеличить высоту капиллярного поднятия воды в пористых поверхностях за счет подбора структурно-обоснованных размеров каналов.

Экологически чистые и ресурсосберегающие технологии как правило очень близки к природным процессам и требуют материалов с особыми свойствами. Охладители воздуха (кондиционеры) – одно из наиболее важных и необходимых устройств, для обеспечения комфортной жизни людей, поэтому их производство увеличивается с каждым годом. Природные процессы охлаждения основаны на испарении воды. Однако большая часть применяемых в настоящее время систем охлаждения использует в качестве агента охлаждения искусственные среды, которые имеют существенные недостатки.

Вода - экологически безопасное вещество, при испарении которой из окружающего пространства поглощается большое количество энергии. Сотрудниками ОГАСА запатентованы несколько способов получения холода с использованием воды, но не один из них еще не реализован в качестве устройства для серийного выпуска. Главное препятствие – высокие гидравлические сопротивления щелевых каналов теплообменников, а также отсутствие капиллярно-пористых материалов для теплообменных пластин с хорошим сочетанием быстрого и обширного смачивания твердых тел и высоким уровнем капиллярного поднятия воды в их пористой поверхности. Для решения перечисленных проблем исследовано влияние структуры потоков на процессы движения жидкостей и газов в щелевых каналах и высоту поднятия воды в капиллярных каналах.

Традиционные представления о движении жидкости и газов сводятся к осреднению во времени реальных параметров хаотичной структуры потоков. Так на рис. 1 представлены эпюры осредненных величин скоростей V и напряжений τ в поперечном сечении канала при ламинарном течении.

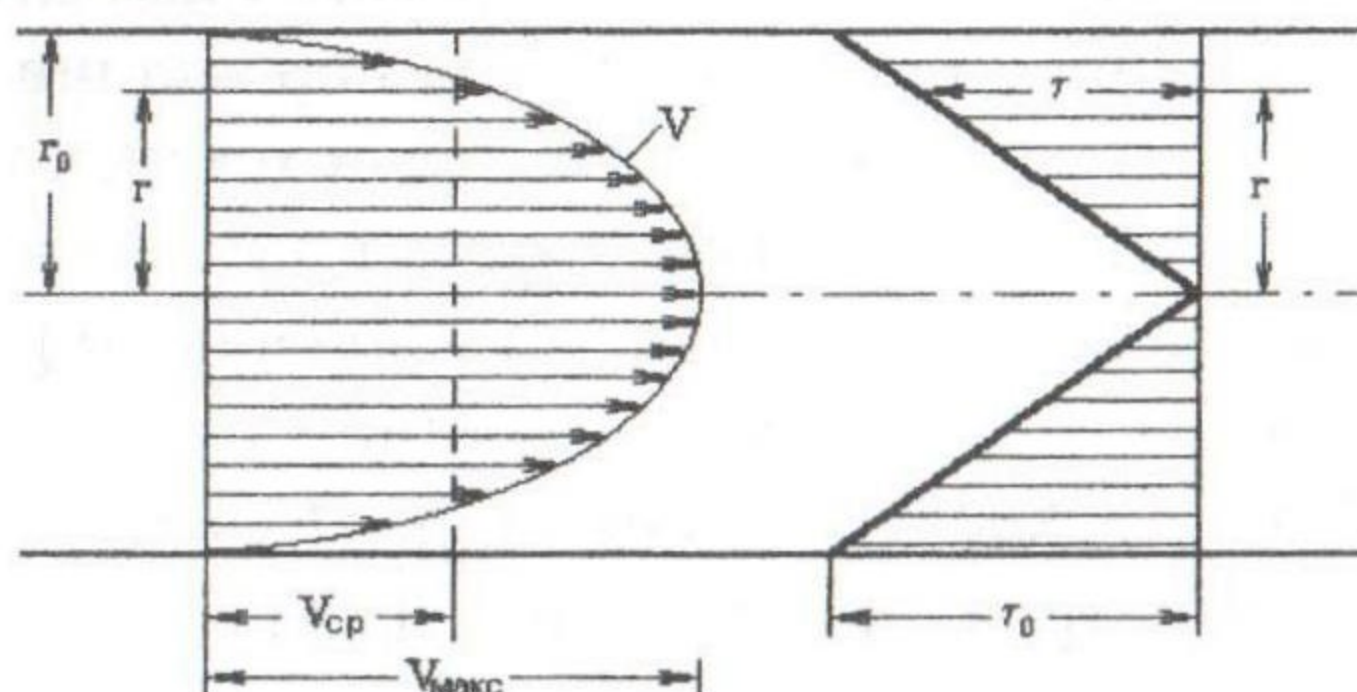


Рис. 1. Эпюры осредненных скоростей и напряжений ламинарного потока

Многочисленные исследования движения жидкостей за последние 40 лет показали, что потоки существенно детерминированы и имеют организованную структуру [1, 2], которая оказывает существенное влияние на различные характеристики потоков. Проведенные авторами визуальные исследования ламинарной струи выявили поперечную структуру потока в виде линий разной оптической плотности [3]. Визуальные исследования структуры ламинарной струи наглядно демонстрируют темные и светлые линии вдоль потока.

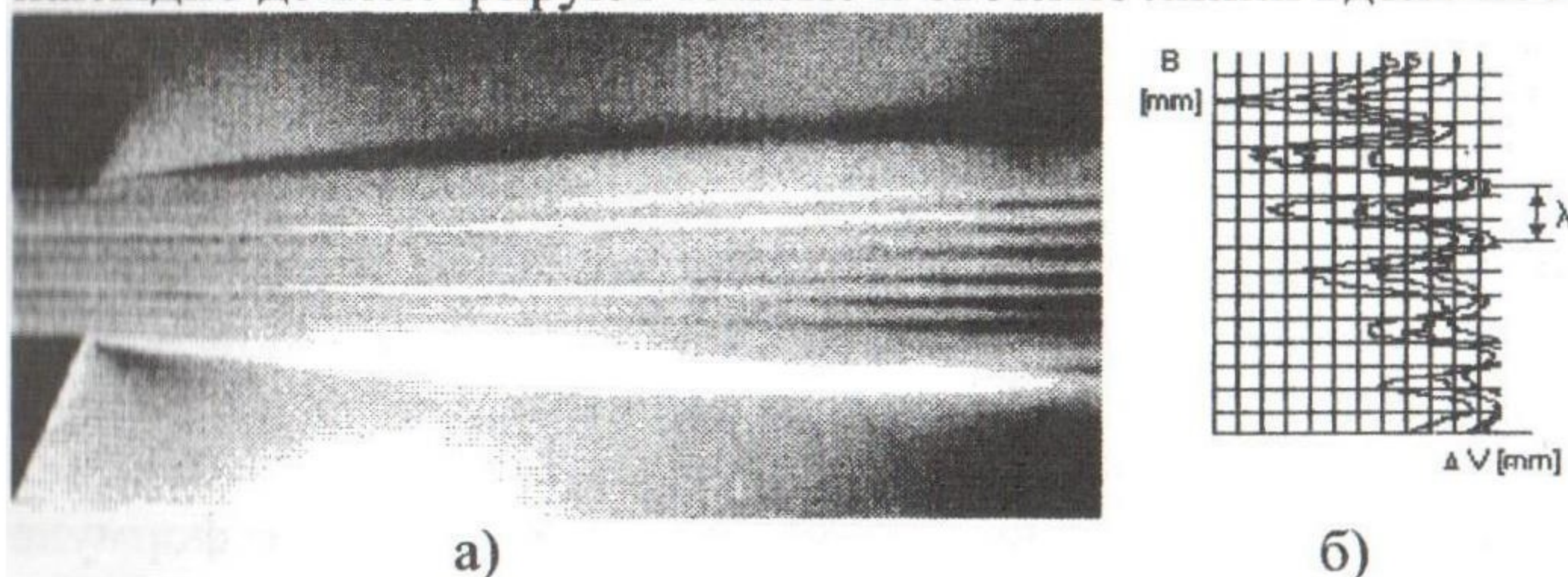


Рис.2. Структура ламинарной струи $Re = 1700$

а) фрагмент структуры струи

б) распределение оптической плотности (градиентов скорости)

B – ширина канала; ΔV – градиенты скорости; $\bar{\lambda}$ – длина волны изменения величин пульсационных компонент скорости.

Согласно описанию метода визуализации дискретных структур потоков (МВДСП) с использованием оптически-активных веществ светлые линии соответствуют величине реальной скорости большей,

чем осредненная скорость в данной области. И наоборот, темные линии соответствуют скорости меньшей, чем осредненная скорость в данной области потока. Регулярность чередования полос (линий тока) и устойчивость их размеров в струе служит подтверждением корректности определения ламинарного режима как слоистого течения, где слои с разной величиной скорости не перемешиваются. Характер изменения оптической плотности в светлых и темных полосах (рис.2.б) свидетельствует о волновом характере распределения градиентов скорости (с параметром длины волны $\bar{\lambda}$) в поперечном сечении потока.

Полученные структуры соответствуют определению мелкомасштабных дискретных структур. Однако, в отличие от безразмерных параметров потоков по Тейлору $\lambda = \delta / R_s^{1/2}$ и по Колмогорову $\eta = \delta / R_s^{3/4}$ [4], размер мелкомасштабной поперечной структуры потоков, выявленный в визуальных экспериментах в виде полос с длиной волны $\bar{\lambda}$ распределения оптической плотности, имеет реальное устойчивое во времени и пространстве значение $\bar{\lambda} \approx 0,6$ мм в широком диапазоне чисел Рейнольдса как при ламинарном, так и при турбулентном режимах.

Используя результаты визуальных исследований потоков, был проведен гидравлический эксперимент с целью выявления влияния структуры потоков на коэффициент гидравлического трения λ . Сегодня считается, что коэффициент гидравлического трения λ зависит от числа Рейнольдса Re и шероховатости Δ .

$$\lambda = f(Re, \Delta) \quad (1)$$

Для проведения гидравлического эксперимент было разработано моделирующее устройство с прямоугольными щелевыми каналами и абсолютно гладкой поверхностью, причем в каналах изменялась только их высота L . Значения коэффициентов гидравлического трения для таких моделей должны быть равны значениям, найденным по формуле Блазиуса $\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$. Рассчитанные по экспериментальным данным значения коэффициентов гидравлического трения λ для разных величин высоты каналов отличались от рассчитанных по формуле Блазиуса.

В диапазоне изменения высоты каналов $L = 0,9 - 2,55$ мм для нескольких размеров коэффициент трения был на $7 \div 21$ % больше, а для других размеров на $9 \div 17$ % меньше, чем рассчитанные по формуле Блазиуса, причем характер изменения величины трения соответствует изменению длины волны $\bar{\lambda}$ поперечных структур потока на рис.1.

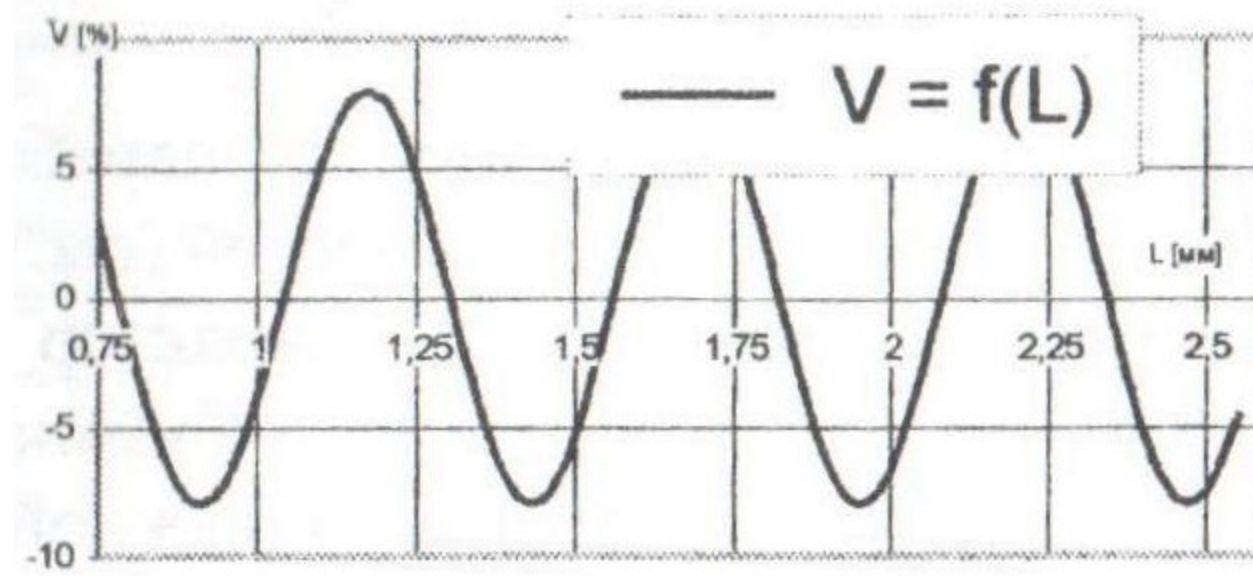


Рис. 3. Характер изменения компоненты скорости ΔV при изменении поперечных размеров каналов L

Таким образом эксперимент показал, что коэффициент гидравлического трения λ при заданных начальных параметрах зависит не только от числа Рейнольдса Re и шероховатости Δ , но также зависит от геометрических размеров канала L . Причем волной характер изменения коэффициента трения при линейном изменении размеров каналов в проведенных экспериментальных исследованиях соответствует размерам полос на визуальных картинах структуры струи $\bar{\lambda} \approx 0,6$ мм.

$$\lambda = f(Re, \Delta, L) \quad (2)$$

Поперечные структуры могут быть использованы при проектировании щелевых каналов вводно-испарительных охладителей воздуха. Нечетное количество полуволн соответствует позитивному влиянию поперечных структур, четное количество полуволн — диссипативному влиянию. В работах [3, 5] предложена гипотеза о влиянии структур потоков на энергетические характеристики проточных частей. Предложена формула определения оптимального размера поперечного сечения канала L , обеспечивающего минимальную величину гидравлического сопротивления и соответственно максимальную величину скорости потока:

$$L_{V \max} = n\bar{\lambda} + 0,25\bar{\lambda} \quad (3)$$

где $\bar{\lambda}$ - длина волны изменения пульсационных компонент скорости.
 n - количество волн, укладываемых в поперечном сечении канала.

При размере канала L , рассчитанного по формуле 3, равному кратному числу длин волн плюс четверть длины волны, величина гидравлического сопротивления будет минимальной, а величина скорости для заданного начального давления будем максимальной на 8 – 16% больше осредненного значения. При размере канала L равному кратному числу длин волн плюс три четверти длины волны, величина гидравлического сопротивления будет максимальной и соответственно максимальную величина скорости потока будет минимальной:

$$L = n \cdot \lambda + 0,75 \times \bar{\lambda} \quad (4)$$

К традиционным представлениям о параболическом законе распределения осредненных значений скоростей (см. рис.1) необходимо добавить выявленный волновой характер распределения пульсационный компонент скорости. Суммирование эпюры осредненных значений скорости течения в каждой точке потоков с волновым характером распределения пульсационных компонент скорости дает эпюру реальных значений скорости в каждой точке поперечного сечения канала.

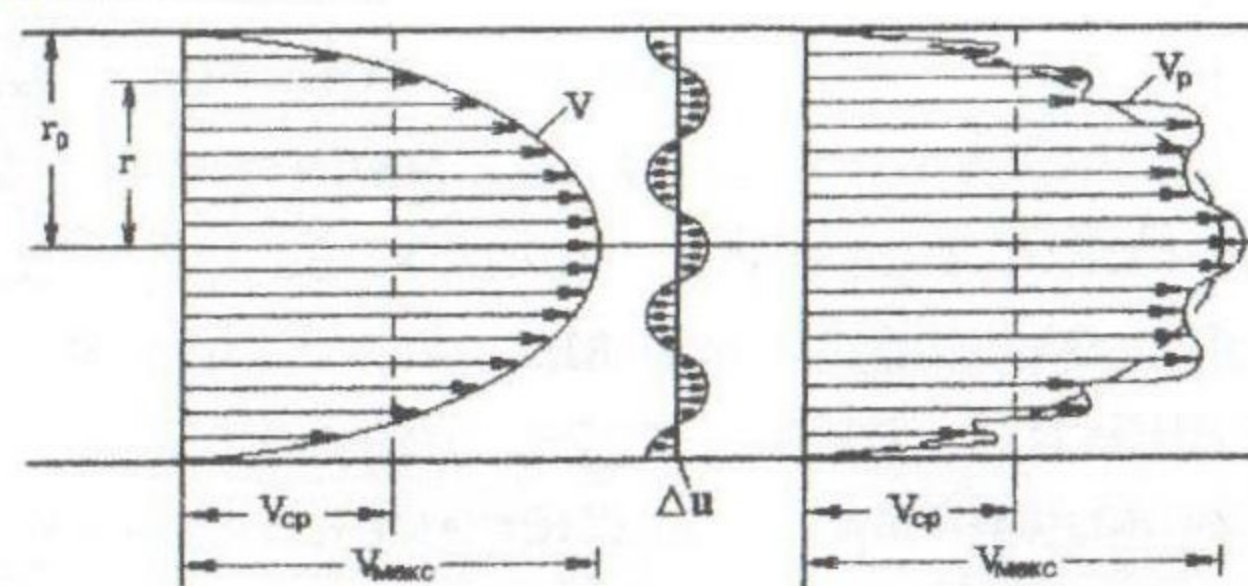


Рис. 4. Эпюры осредненных и реальных скоростей ламинарного течения

Второй гидравлический эксперимент посвящен исследованию влияния поперечных размеров капилляров на высоту поднятия воды. Известно, что мелкопористые твердые тела хорошо смачиваются и обладают достаточно большой высотой капиллярного поднятия воды – до 200 миллиметров и более. Для исследования капиллярных свойств твердых поверхностей были проведены исследования капиллярного поднятия воды между двумя пластинами. Считается, что зависимость высоты капиллярного поднятия воды h от расстояния между пластинами s имеет монотонно убывающий характер и определяется по формуле

$$h = 15/s \quad (5)$$

Для исследования зависимости 5 было изготовлено моделирующее устройство, которое представляет собой тонкий лист пластмассы с вырезанным капиллярным каналом, жестко закрепленный между двумя отполированными покровными плитами из оргстекла. Для проведения опыта были изготовлены 9 листов с заданными размерами – толщины листа s и шириной вырезанного канала b различной толщины $s = 0.1 \div 2$ мм. Для обеспечения одинаковой ширины $b = 3$ мм = const проточная часть канала выполнялась фрезерованием всех листов одновременно.

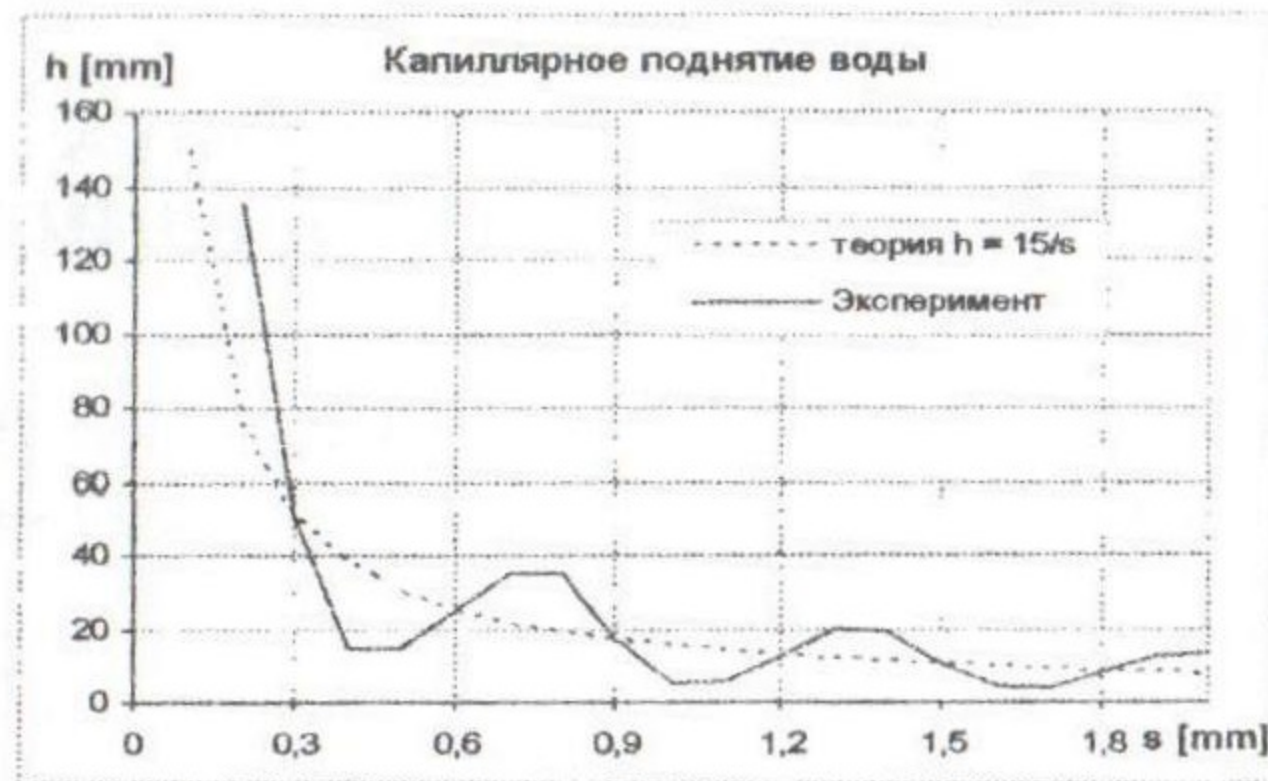


Рис.5 Высота поднятия воды в капиллярах

Анализ результатов эксперимента показал, что изменение высоты капиллярного поднятия также имеет волновой характер с длиной волны $\bar{\lambda}$. Отклонение высоты капиллярного поднятия отличается от среднего значения, рассчитанного по формуле 5 на $\pm 16\%$. Таким образом при нормальных условиях линейному изменению поперечных размеров капилляров соответствует волновой характер изменения высоты капиллярного поднятия, что позволяет разрабатывать структуру твердых пористых поверхностей для охладителей воздуха с учетом закономерностей организации структуры потоков.

Литература

1. П Берже. И. Помо, К. Видаль Порядок в хаосе. — Москва. Мир. 1991
 2. Альбом течений жидкости и газа: А.56. Пер с англ./ Сост М. Ван Дайк.— М.: Мир. 1986.— 184 С.
 3. Арсирый В.А., Арсирый Е.А., Власенко В.А. Метод и информационная технология визуализации структур гидродинамических потоков // Труды Одесского политехнического университета. — 1997. — Вып.1. — С. 242–247.
 4. Кантуэлл Б.Дж. Организованные движения в турбулентных потоках. /Сб. статей. Вихри и волны.Пер. с англ.—М.: Мир.— 1984.— С. 9–79.
- Арсирый В.А. Арсирый Е.А. Структура потока присуща движению жидкостей и газов. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, № 20 с 8 – 13. 2005 р.