

Могилевский государственный технологический институт
Конкурс научных работ студентов Республики Беларусь по естественным и
техническим наукам

Девиз: Капилляр

Координатный способ задания формы ломаного канала при
исследовании течения разреженного газа методом Монте-Карло

Автор:

Гапеев Алексей Анатольевич
(Гапееу Аляксеі Анатольевіч)

третий курс

Научный руководитель:

Малышев Владимир Львович

Кандидат физико-математических
наук, доцент

Могилев, 2001г

Сведения

Об авторах и руководителе научной работы:

Координатный способ задания формы ломаного канала при исследовании течения разреженного газа методом Монте-Карло представленной в 2001 году на конкурс научных работ студентов Республики Беларусь по гуманитарным, социально-экономическим, естественным и техническим наукам под девизом: **капилляр**

Автор:

1. *Фамилия:* Гапеев (Гапееу)
2. *Имя, отчество:* Алексей Анатольевич (Аляксей Анатольевіч)
3. *Название вуза:* Могилевский государственный технологический институт
4. *Факультет, курс:* Механический; третий курс
5. *Домашний адрес:* г. Могилев, ул. Космонавтов, д.16, кв.12

Научный руководитель:

1. *Фамилия:* Малышев (Мальшпау)
2. *Имя, отчество:* Владимир Львович (Уладзімір)
3. *Ученая степень, звание:* Кандидат физико-математических наук, доцент
4. *Домашний адрес:* ул. Бурденко, д.4, кв. 109

Работа рекомендована для участия в конкурсе на заседании Совета по НИРС (СНО, конкурсной комиссии):

Могилевский государственный технологический институт

« ____ » _____ 2001 г. протокол № ____

Председатель Совета по НИРС _____
(СНО, конкурсной комиссии)

ОТЗЫВ

Научного руководителя на студенческую научно-исследовательскую работу «Координатный способ задания формы ломаного канала при исследовании течения разреженного газа методом Монте-Карло» студента Могилевского государственного технологического института

Работа посвящена актуальной проблеме массопереноса в дисперсных материалах. Одной из наиболее сложных её сторон является учет влияния формы каналов на интенсивность массопереноса при фазовых переходах в капиллярах.

Применительно к разреженным газам используется метод Монте-Карло, позволяющий установить статистические закономерности.

На прошлогоднем конкурсе студенческих работ была представлена теория метода и разработанная автором в соавторстве со своим однокурсником вычислительная программа.

В настоящей работе основное внимание было обращено на способ задания в программе требуемой формы плоского канала, для чего был предложен координатный способ. Из всего многообразия различных конфигураций ломаных каналов были выделены 4 основных типа.

Для нескольких случаев представлены результаты вычислительного эксперимента в виде графической зависимости относительного числа покинувших канал частиц от угла излома. Для описания этих зависимостей студентом найдены аналитические выражения.

Работа выполнена автором на втором курсе непрофильной специальности практически самостоятельно, кроме постановки задачи и оформления результатов.

По результатам исследований сделан доклад на III-й международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» (г.Могилёв, 29-31 мая 2001 год, МГТИ), и опубликованы тезисы доклада.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Введение	3
2. Принятые обозначения	4
3. Канал с постоянным диаметром (вариант 1)	5
4. Сужающийся канал с горизонтальным устьем (вариант2)	6
5. Сужающийся канал с прямоугольным устьем (вариант3)	7
6. Расширяющийся канал (вариант 4)	8
7. Результаты вычислительного эксперимента.	9
8. Заключение	11

РЕФЕРАТ

Отчет: 15 страниц, 10 рисунков, 6 таблиц.

РАЗРЕЖЕННЫЙ ГАЗ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, ЛОМАННЫЕ КАНАЛЫ.

Методом Монте-Карло исследуется течение разреженного газа в плоском канале, претерпевающим излом, как модели реального капиллярно-пористого тела. Моделируется процесс массопереноса при фазовом переходе жидкость-пар. На основе оригинальной вычислительной программы проведен численный эксперимент для основных типов ломаных каналов. Построены графические зависимости процента выхода частиц из устья канала в зависимости от его формы (угла излома). Получены аналитические выражения, позволяющие удовлетворительно описать обнаруженные эмпирические закономерности. Анализируется величина погрешностей между результатами расчетов и вычислительного эксперимента.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследованию процессов испарения жидкости из капиллярно-пористых материалов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Теоретические исследования проводились в трех направлениях: процесс испарения описывался макроскопическими или феноменологическими уравнениями тепло- и массопереноса, использовались квазимикроскопические уравнения теории Онсагера или уравнения кинетической теории газов. В последние годы для решения задач подобного типа все чаще используется метод вычислительного эксперимента (метод Монте-Карло).

Одной из наименее исследованных особенностей массопереноса при парообразовании в капиллярно-пористых телах до настоящего времени является влияние формы каналов на расход пара, гидродинамическое сопротивление, распределение скоростей по сечению.

Большинство исследователей при теоретическом рассмотрении процессов массопереноса при фазовых переходах первого рода в капиллярно-пористых системах обращаются к модели прямого цилиндрического капилляра, допускающей наиболее простое сопоставление результатов теории и эксперимента. Однако капиллярное пространство в материалах такой структуры представляет собой существенно искривленную систему каналов, что приводит к значительным математическим трудностям при попытке аналитического её рассмотрения. С целью моделирования процесса высокотемпературного парообразования с учётом реальной геометрии одиночных капилляров в пористых материалах рассматривается методом Монте-Карло течение разреженного газа в плоских ломаных каналах.

Разработана специальная вычислительная программа, представленная автором на конкурс студенческих работ в 2000 году, предусматривающая различные механизмы взаимодействия частиц со стенками (зеркальное отражение или диффузное). В случае диффузного отражения предусмотрена возможность введения равномерного или гауссова распределения отраженных частиц по углам с различными коэффициентами.

В качестве исходной поверхности выбирается межфазная граница, с которой вылетают частицы под произвольными углами из точек, обладающих различными координатами x со скоростями \bar{v} .

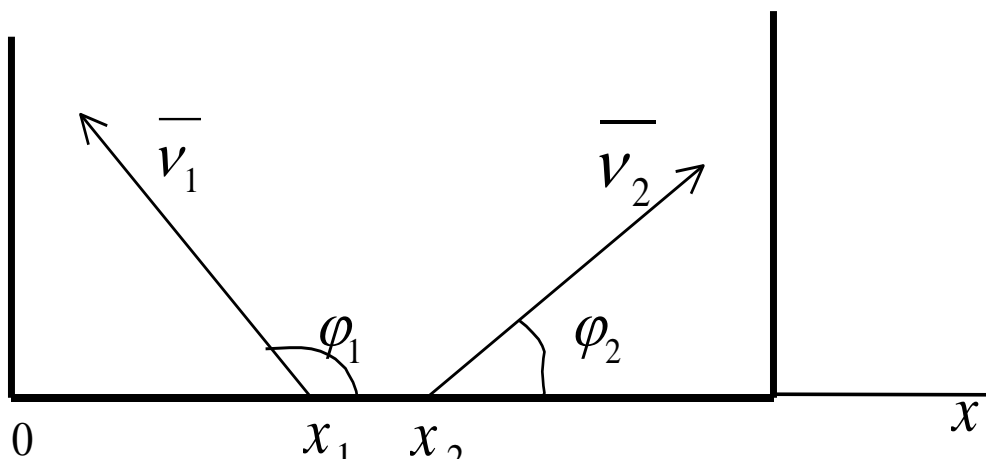


Рис. 1.1. Вычислительная схема

Для задания формы ломаного канала предлагается координатный способ, требующий введения в программу координат шести точек. Плоская граница испаряющей поверхности задается точками $A(0,0)$ и $B(d,0)$. Длина первичного участка канала задается точкой $C(0,L)$. Положение вторичного участка (после излома) задают координаты точек D,E,F , для которых получены формулы, зависящие от выбора угла излома α . Устье канала определяется прямой EF .

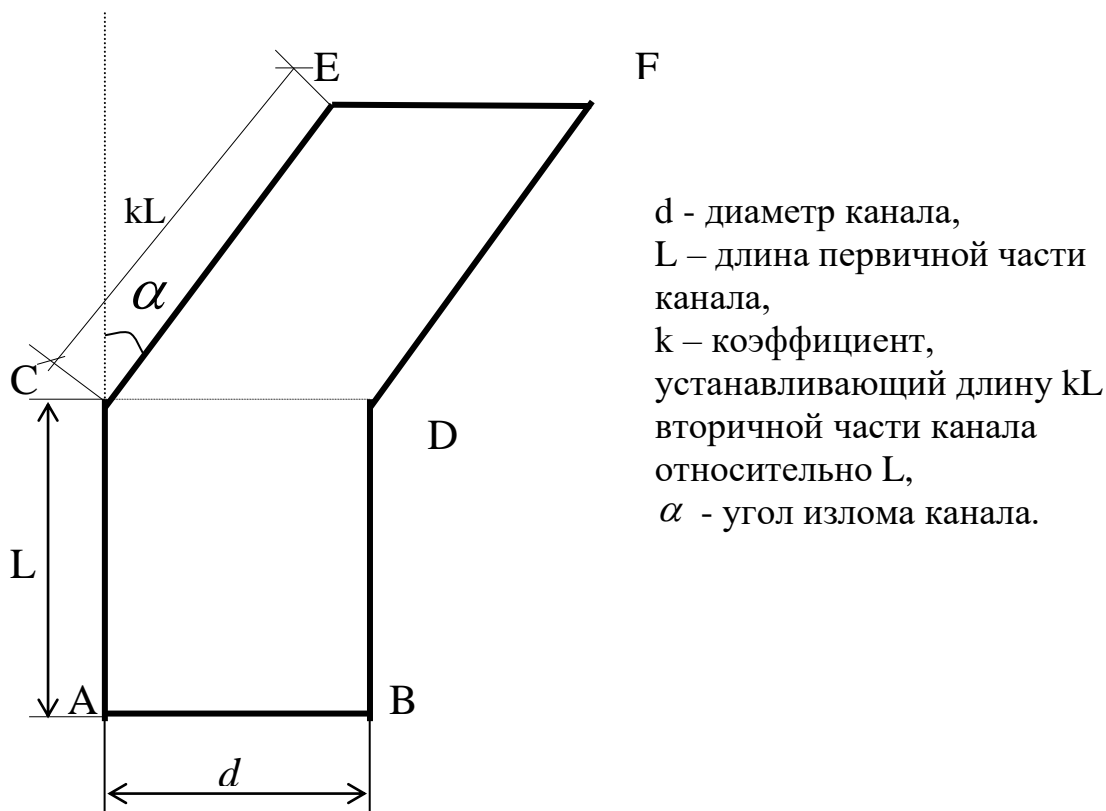


Рис.2.1. Принятые обозначения

Рассмотрены четыре возможных вида ломаных каналов:

□□□ с постоянным диаметром;

□□ сужающийся при возрастании угла излома с горизонтальным устьем;

□ сужающийся при возрастании угла излома с прямоугольным устьем;

□□ расширяющийся после излома.

Определены $L_{\min}(\alpha_{\max})$ и $\alpha_{\max}(L,d)$. За единицу отсчета линейных величин принята величина диаметра ($d=1$).

3.КАНАЛ С ПОСТОЯННЫМ ДИАМЕТРОМ (ВАРИАНТ 1)

Таблица 3.1. - Координаты основных точек канала с постоянным диаметром

Точка	Координата X	Координата Y
A	0	0
B	d	0
C	0	L
D	$(kL - d) \sin \alpha + d \cos \alpha$	$L(1 - k \cos \alpha) - d \sin \alpha(1 + \operatorname{tg} \alpha)$
E	$kL \sin \alpha$	$L(1 + k \cos \alpha)$
F	$kL \sin \alpha + d \cos \alpha$	$L(1 + k \cos \alpha) - d \cdot \sin \alpha$

Задаются параметры $k; L$. Угол излома варьируется в пределах $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$. Максимально возможный угол определяется исходными параметрами:

$$\alpha_{\max} = 2 \operatorname{arctg} \frac{L}{d}.$$

При выбранном α_{\max}^0 сначала вычисляется минимально возможная длина первичной части канала, реализуемая на практике:

$$L_{\min} = d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{\max}^0}{2}.$$

Проверяется минимально разрешенный коэффициент k : $k_{\min} = \frac{d}{L} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{\max}}{2}$.

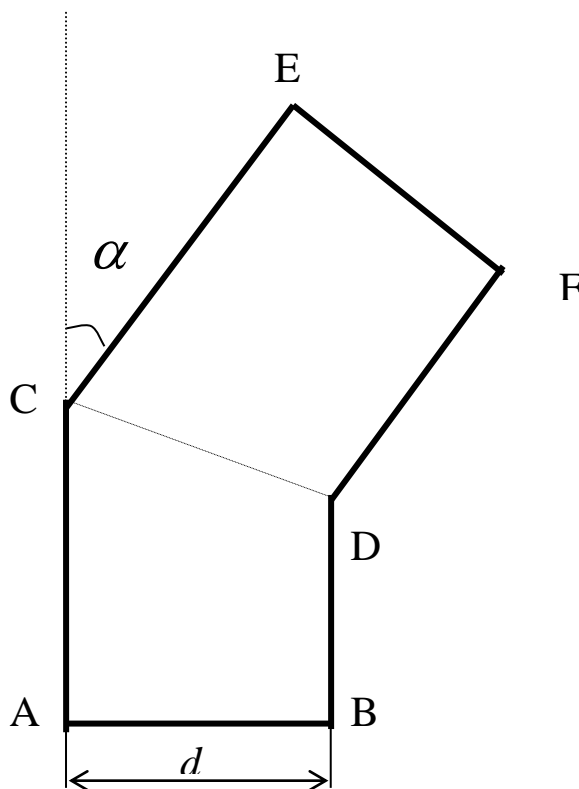


Рис. 3.21

4.СУЖАЮЩИЙСЯ КАНАЛ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ УСТЬЕМ (ВАРИАНТ 2)

Таблица 4.1. - Координаты основных точек сужающегося канала с горизонтальным устьем

Точка	Координата X	Координата Y
A	0	0
B	d	0
C	0	L
D	d	L
E	$kL \sin \alpha$	$L(1 + k \cos \alpha)$
F	$d + kL \sin \alpha$	$L(1 + k \sin \alpha)$

Произвольно задаются k, L

Угол излома : $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$.

При $\alpha_{\max} = \frac{\pi}{2}$ канал перекрывается, прерывая течение газового потока

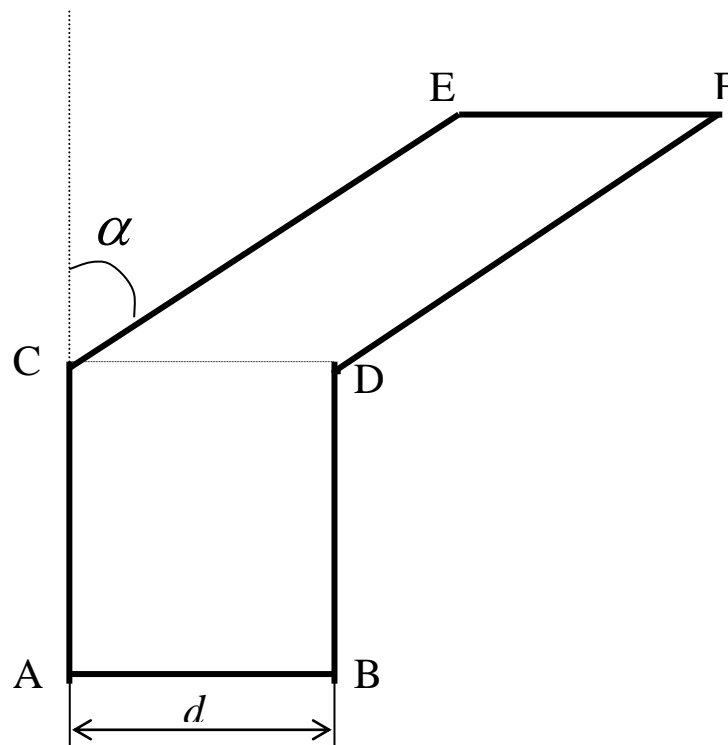


Рис.5.1.

5.СУЖАЮЩИЙСЯ КАНАЛ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ УСТЬЕМ (ВАРИАНТ3)

Таблица 5.1. - Координаты

основных точек сужающегося канала с горизонтальным устьем

Точка	Координата X	Координата Y
A	0	0
B	d	0
C	0	L
D	d	L
E	$kL\sin\alpha$	$L(1+k\cos\alpha)$
F	$d(1+\sin\alpha\cdot\cos\alpha)-kL\cos\alpha$	$L(1+k\sin\alpha)-d\sin 2\alpha$

Произвольно задаются k, L

Угол излома : $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$.

Минимально возможный коэффициент k :

$$k_{\min} = \frac{d}{L} \sin \alpha_{\max}^0.$$

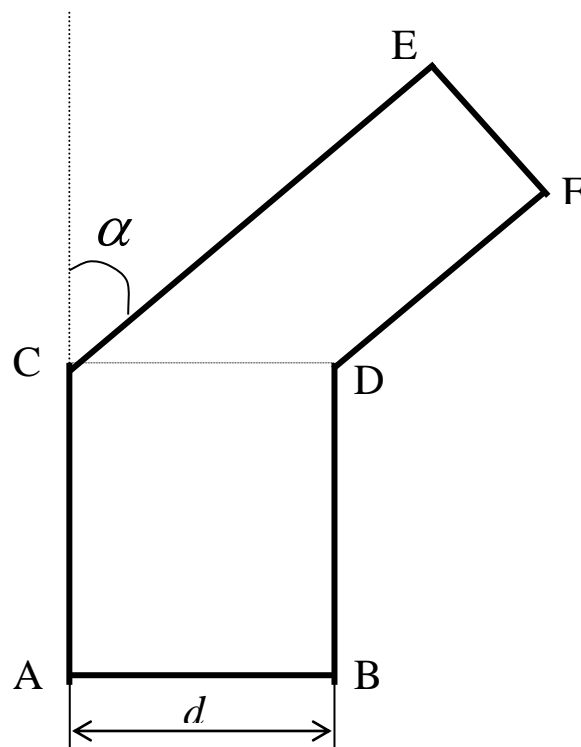


Рис.5.1.

6. РАСШИРЯЮЩИЙСЯ КАНАЛ (ВАРИАНТ 4)

Табл. 6.1.

Точка	Координата X	Координата Y
A	0	0
B	d	0
C	0	L
D	d	$L - d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$
E	$kL \sin \alpha$	$L(1 + k \cos \alpha)$
F	$kL \cdot \sin \alpha + d$	$L(1 + k \cos \alpha) - d \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Произвольно задается параметр k

Параметр L задается исходя из условия: $L_{\min} = d \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\max}$

Угол излома: $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$,

где $\alpha_{\max} = \operatorname{arctg} \frac{L}{d}$.

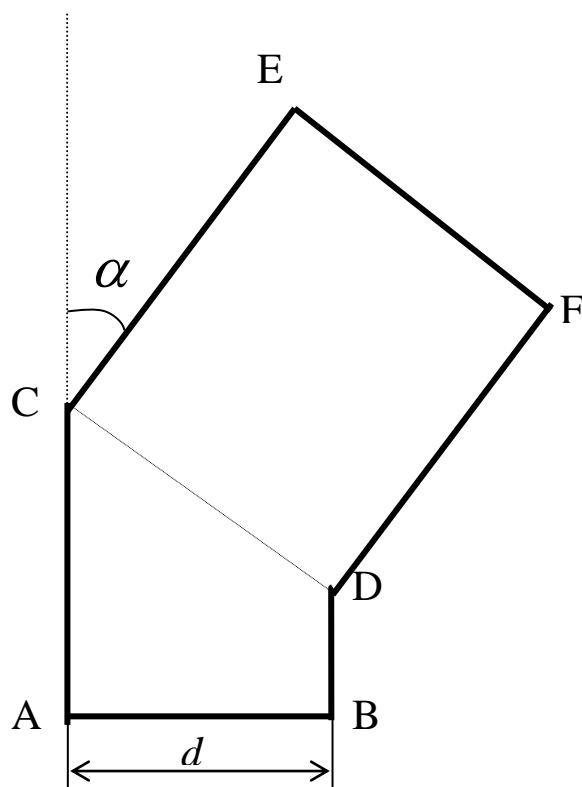


Рис 6.1.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

Методом Монте-Карло определялся процент выхода частиц из устья (ЕF) по отношению к исходному числу, покинувших поверхность жидкости (АВ) в следствии фазового перехода. Разыгрывалось 50 000 частиц в каждом опыте. Рассматривалось зеркальное взаимодействие частиц со стенками канала. На первом этапе рассматривалось равновероятное распределение вылетающих из жидкости молекул по координате x и углам α

Вариант 1. При $k=1$ и $L=1$ угол излома может варьироваться ,как показали расчеты, в пределах $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$

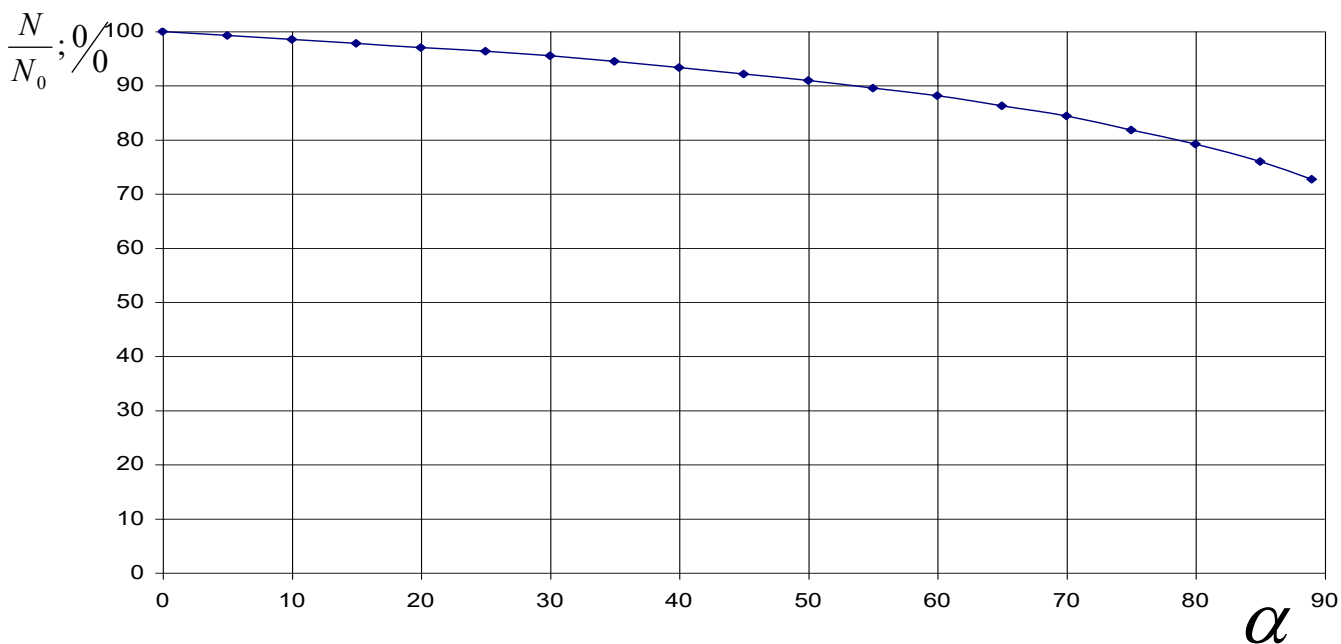


Рис.7.1.

Здесь N_0 – количество частиц, вылетевших с поверхности АВ в канал;
 N – количество частиц, прошедших устье ЕF и покинувших канал.

Вариант 2. При $k=10$ и $L=0.1$, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$

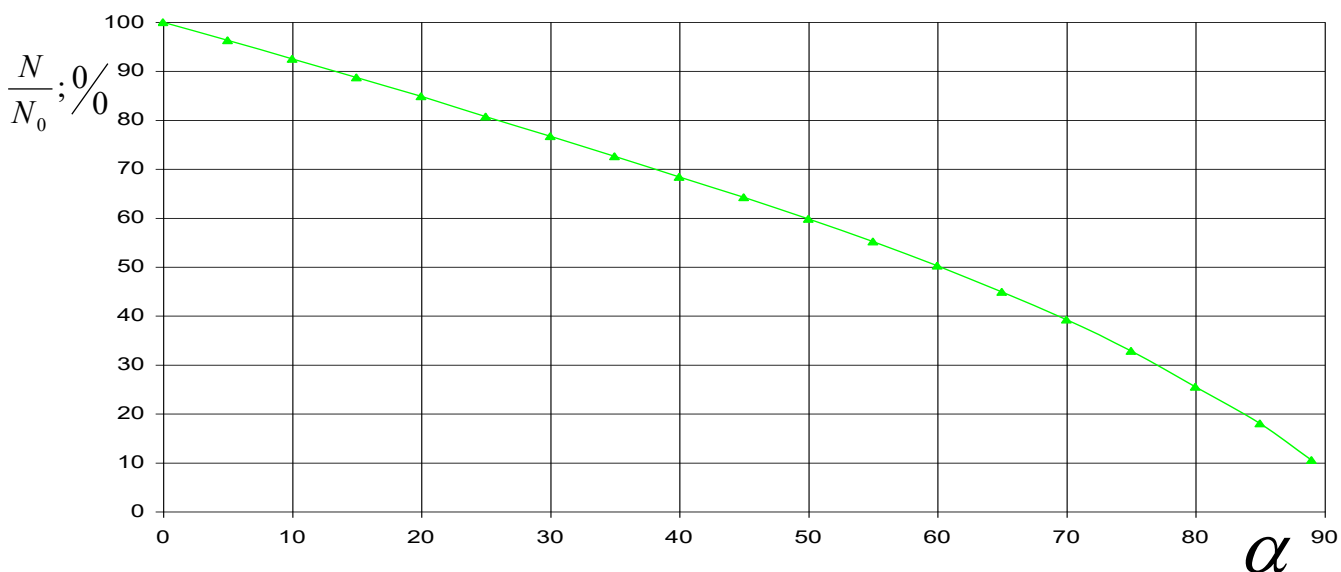


Рис.7.2.

Вариант 3. При $k=1$ и $L=1$, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$

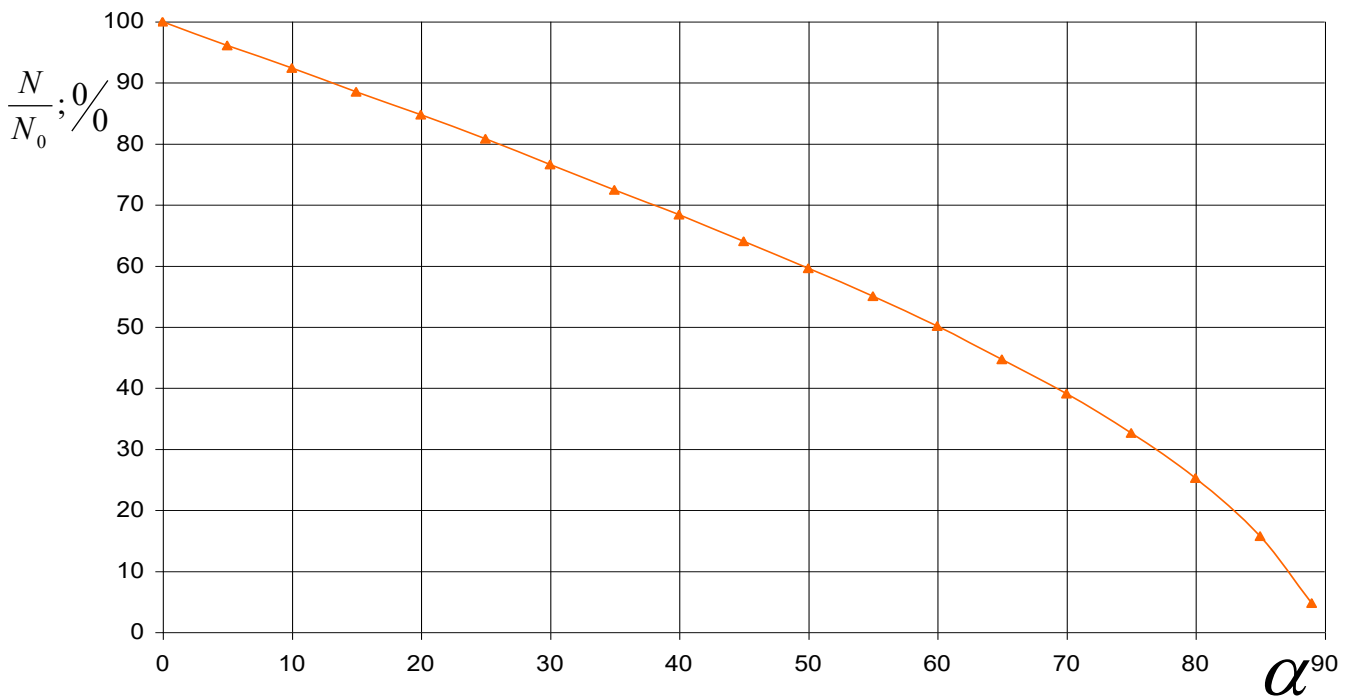


Рис.7.3.

Как показал эксперимент при $k=2,3,4,10$ ($L=1$) процент выхода через устье частиц оставался постоянным в пределах погрешности опыта.

Вариант 4. При $k=1$ и $L=1$, предельный угол $\alpha_{\max} = \frac{\pi}{4}$; $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}$

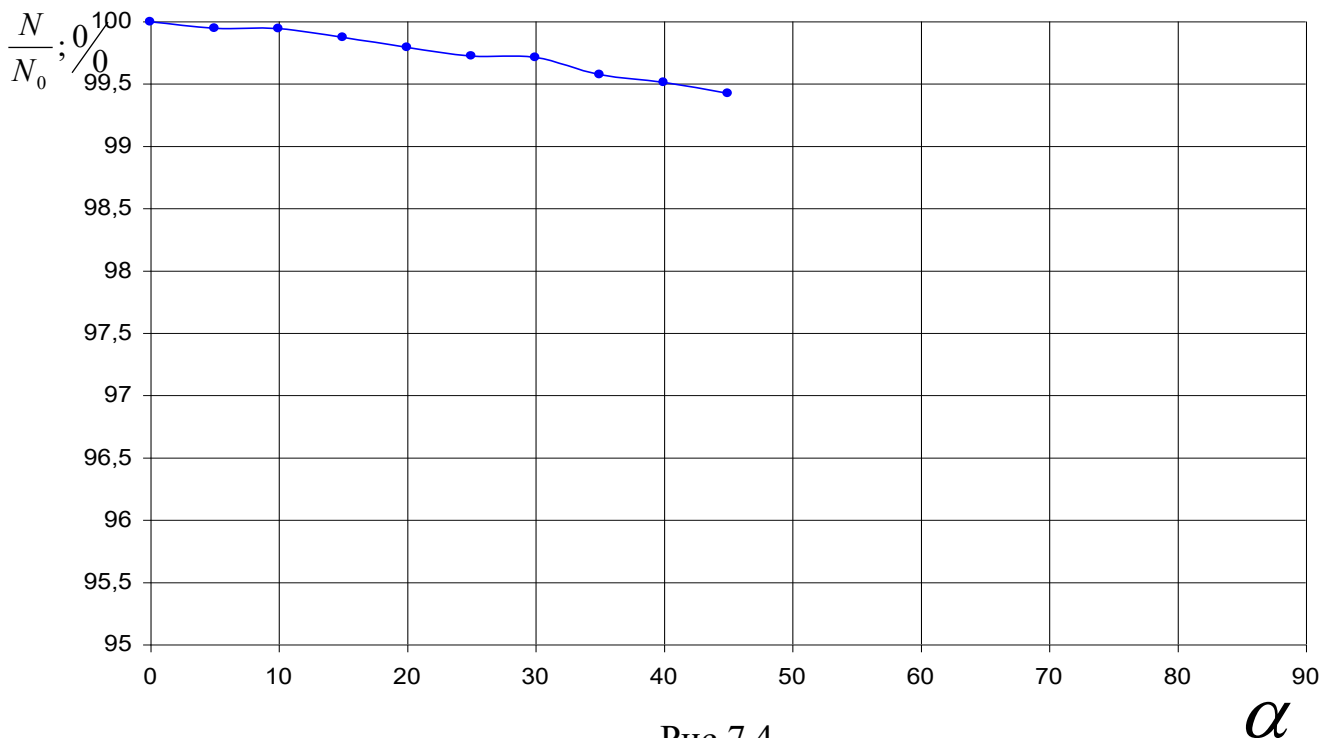


Рис.7.4.

При наличии расширяющегося канала все влетевшие в него частицы проходят через устье в пределах погрешности эксперимента.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные графические зависимости позволяют оценить теоретически влияние углов излома каналов на величину массового потока пара при парообразовании в пористом материале. В качестве примера предлагаются следующие случаи.

Вариант 1 (рис.7.1.) получено уравнение:

$$N / N_0 = -0.001307\alpha^3 + 0.0114096\alpha^2 - 1.0548371\alpha + 101.227685$$

Табл.8.1.

n/n	α	теоретич	эксперимент	относительная погрешность
1	0	101,227685	99,952	1,276%
2	5	96,222402	96,076	0,152%
3	10	91,689574	92,374	0,741%
4	15	87,531176	88,432	1,019%
5	20	83,649183	84,7	1,241%
6	25	79,94557	80,75	0,996%
7	30	76,322312	76,54	0,284%
8	35	72,681384	72,388	0,405%
9	40	68,924761	68,344	0,850%
10	45	64,954418	63,962	1,552%
11	50	60,67233	59,555	1,876%
12	55	55,980472	54,972	1,835%
13	60	50,780819	50,086	1,387%
14	65	44,975346	44,664	0,697%
15	70	38,466028	39,014	1,405%
16	75	31,15484	32,57	4,345%
17	80	22,943757	25,224	9,040%
18	85	13,734754	15,706	12,551%

Вариант 3 (рис.7.3.) получено уравнение:

$$N / N_0 = -0.0000332\alpha^3 + 0.0015141\alpha^2 - 0.1736758\alpha + 100.0226957$$

Табл.8.2.

n/n	α	теоретич	эксперимент	относительная погрешность
1	0	100,022696	99,952	0,071%
2	5	99,1880192	99,198	0,010%
3	10	98,4041477	98,506	0,103%
4	15	97,6461812	97,782	0,139%
5	20	96,8892197	96,994	0,108%
6	25	96,1083632	96,3	0,199%
7	30	95,2787117	95,458	0,188%
8	35	94,3753652	94,454	0,083%
9	40	93,3734237	93,312	0,066%
10	45	92,2479872	92,102	0,159%
11	50	90,9741557	90,892	0,090%
12	55	89,5270292	89,491	0,040%
13	60	87,8817077	88,09	0,236%
14	65	86,0132912	86,228	0,249%
15	70	83,8968797	84,366	0,556%
16	75	81,5075732	81,773	0,325%
17	80	78,8204717	79,18	0,454%
18	85	75,8106752	75,928	0,155%
19	89	73,1537648	72,676	0,657%