

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ
ГАЗОПЛАЗМЕННЫМ
МЕТОДОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

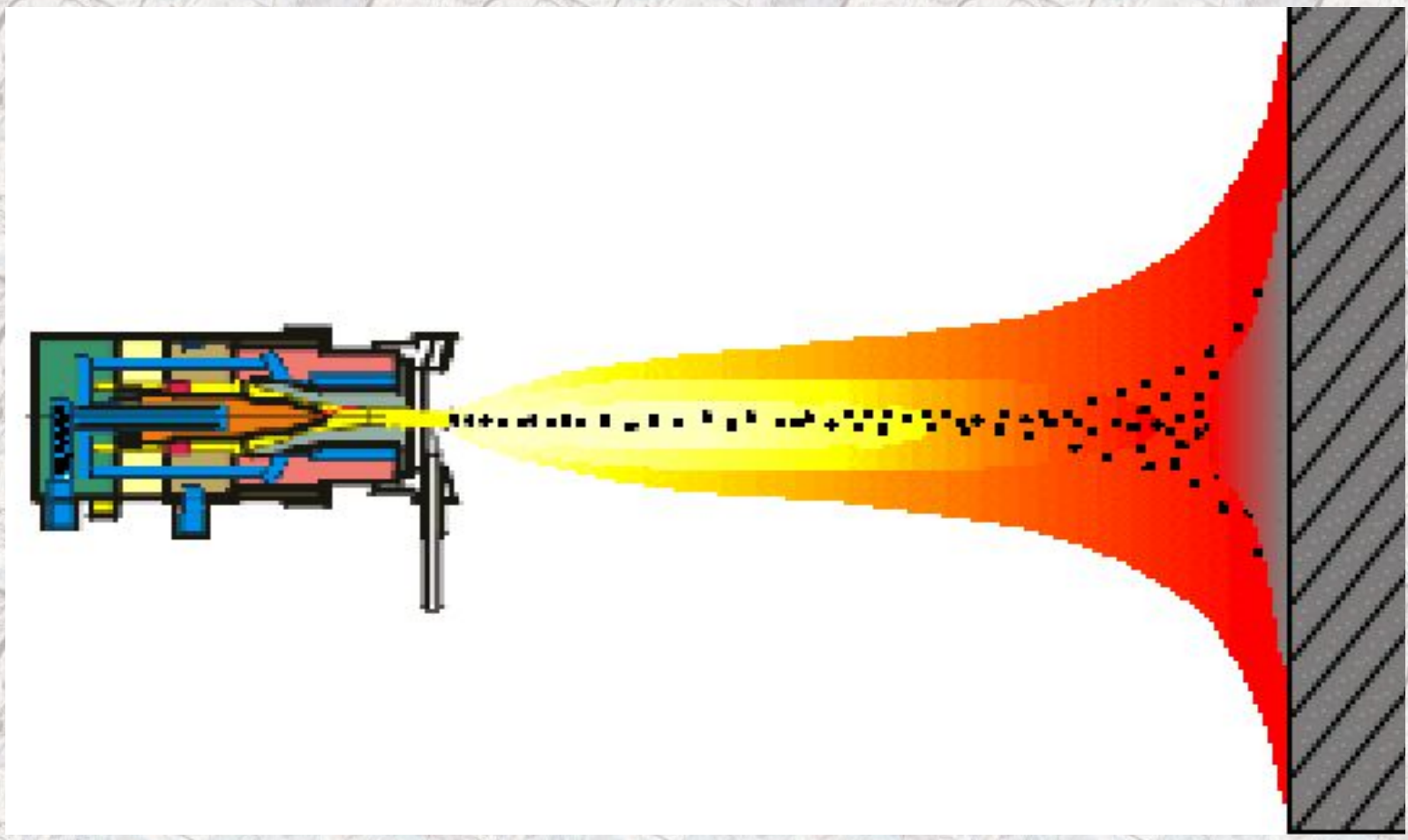
Целью настоящей работы являлось исследование влияния термодинамических параметров гетерогенной плазменной струи на формирование покрытий с заданными функциональными свойствами, в частности, покрытий с защитными свойствами на различных подложках.

Решались следующие задачи:

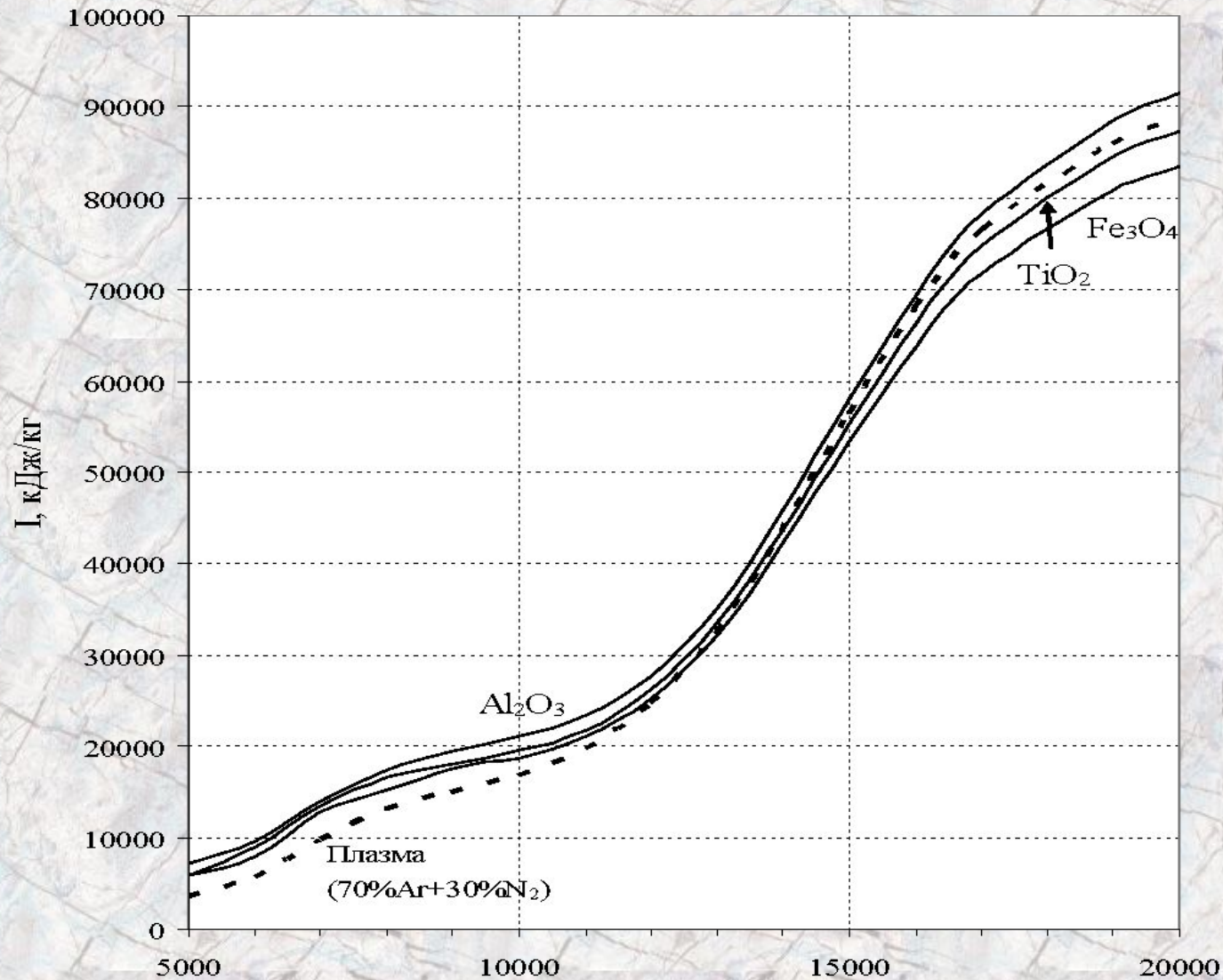
1. Исследование состава и термодинамических характеристик плазмообразующих газов (Ar , N_2 , H_2 , смеси $x\text{Ar} + (1-x)\text{N}_2$, $x\text{Ar} + (1-x)\text{H}_2$) в зависимости от температуры с применением методов термодинамического моделирования.
2. Моделирование равновесного состава и термодинамических свойств систем "плазма + частица".
3. Моделирование формирования покрытий с использованием программного комплекса «Plasma 2002».
4. Практическое применение метода плазменного напыления для получения покрытий с защитными свойствами на стальных (чугунных) подложках.

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического
моделирования металлических,
оксидных и солевых систем

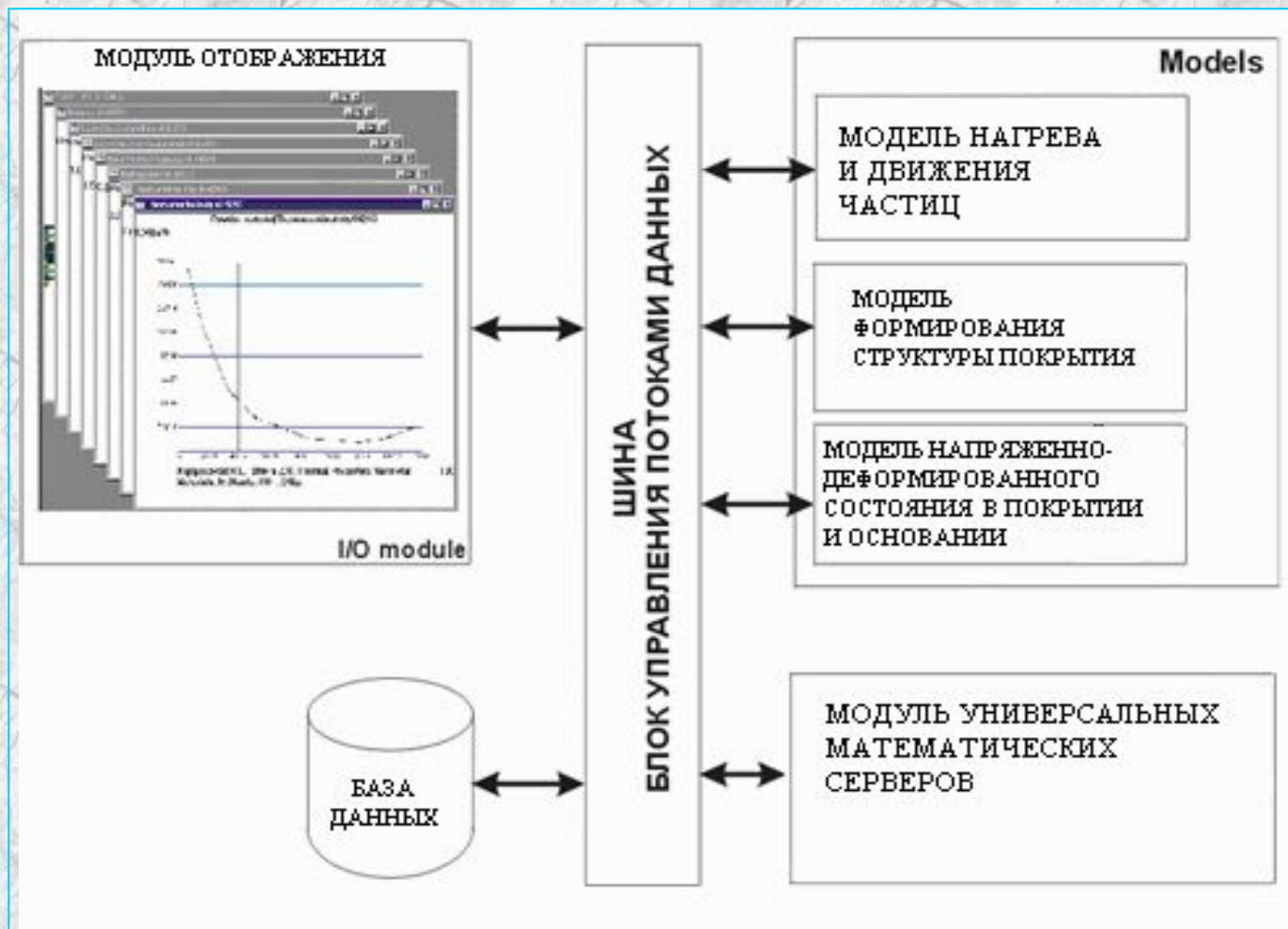
Процесс плазменного напыления



Энтальпия системы
плазма + частица
Состав плазмообразующего газа -
70%Ar+30%N₂.
Частица - оксиды



Программный комплекс «PLASMA 2002»



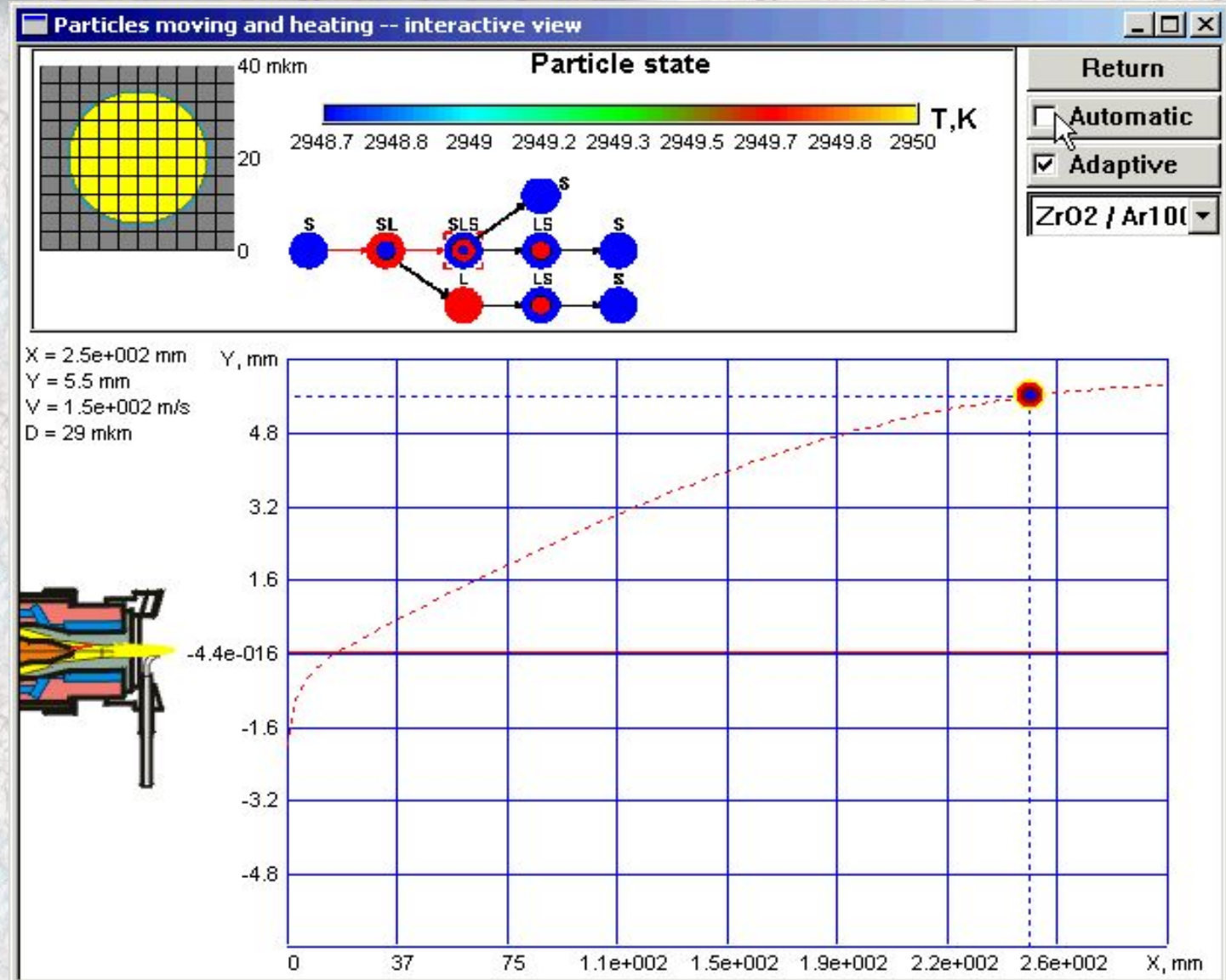
Исследования проведены со следующими исходными данными:

- плазмообразующий газ - N₂;**
- материал напыляемого порошка - оксид алюминия Al₂O₃;**
- начальный диаметр частиц – 63 мкм;**
- начальная температура - 300 К;**
- дистанция напыления - 200 мм;**
- начальная скорость ввода частиц изменялась от 2 до 14 м/с (с шагом 2 м/с)/**

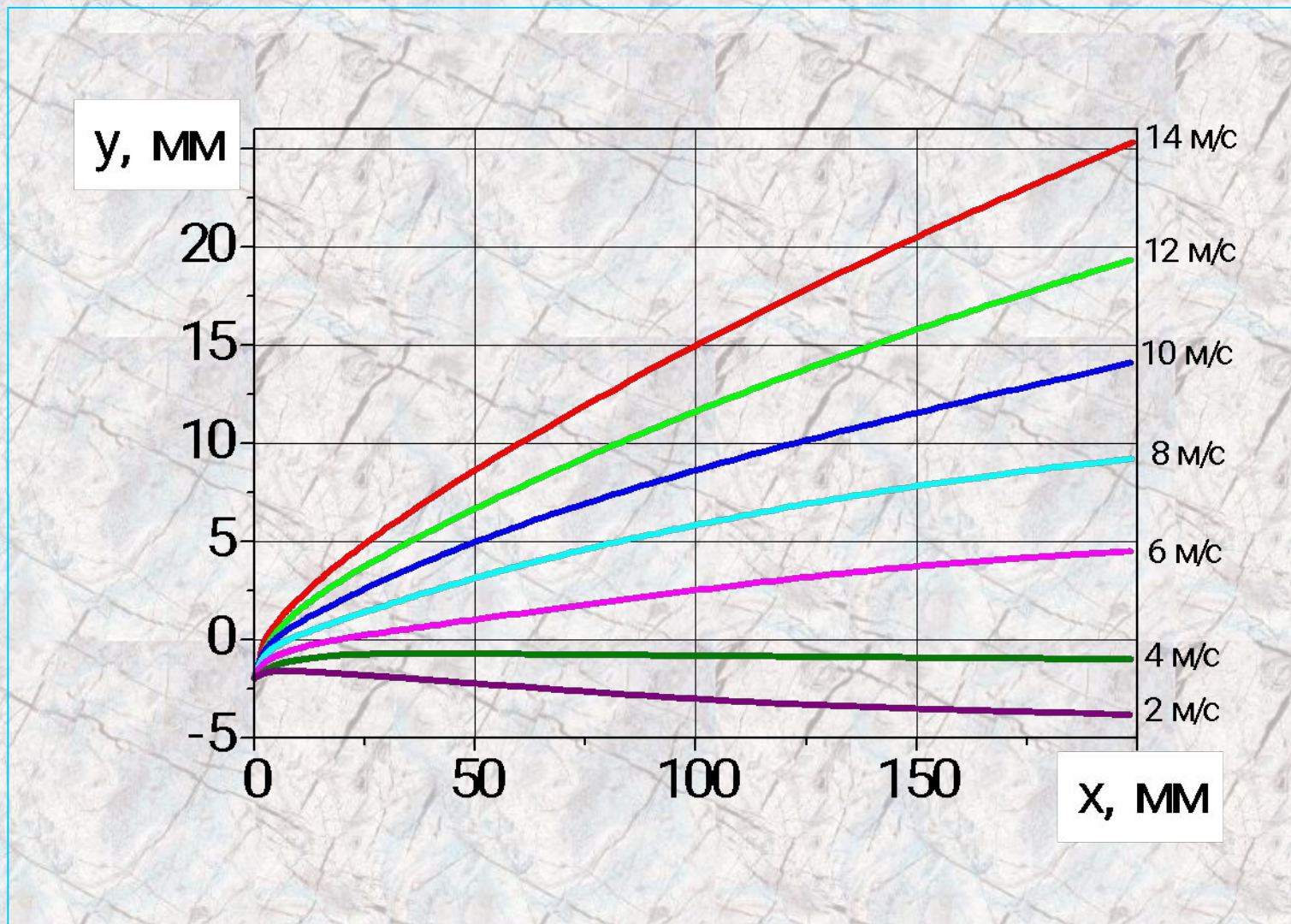
Исследовалось влияние начальной скорости ввода частиц в плазменную струю на:

- траекторию движения частиц в плазменной струе;**
- изменение скорости полета частиц порошка вдоль оси плазменной струи с момента их ввода;**
- изменение температуры в центре частицы при нахождении в плазменной струе.**

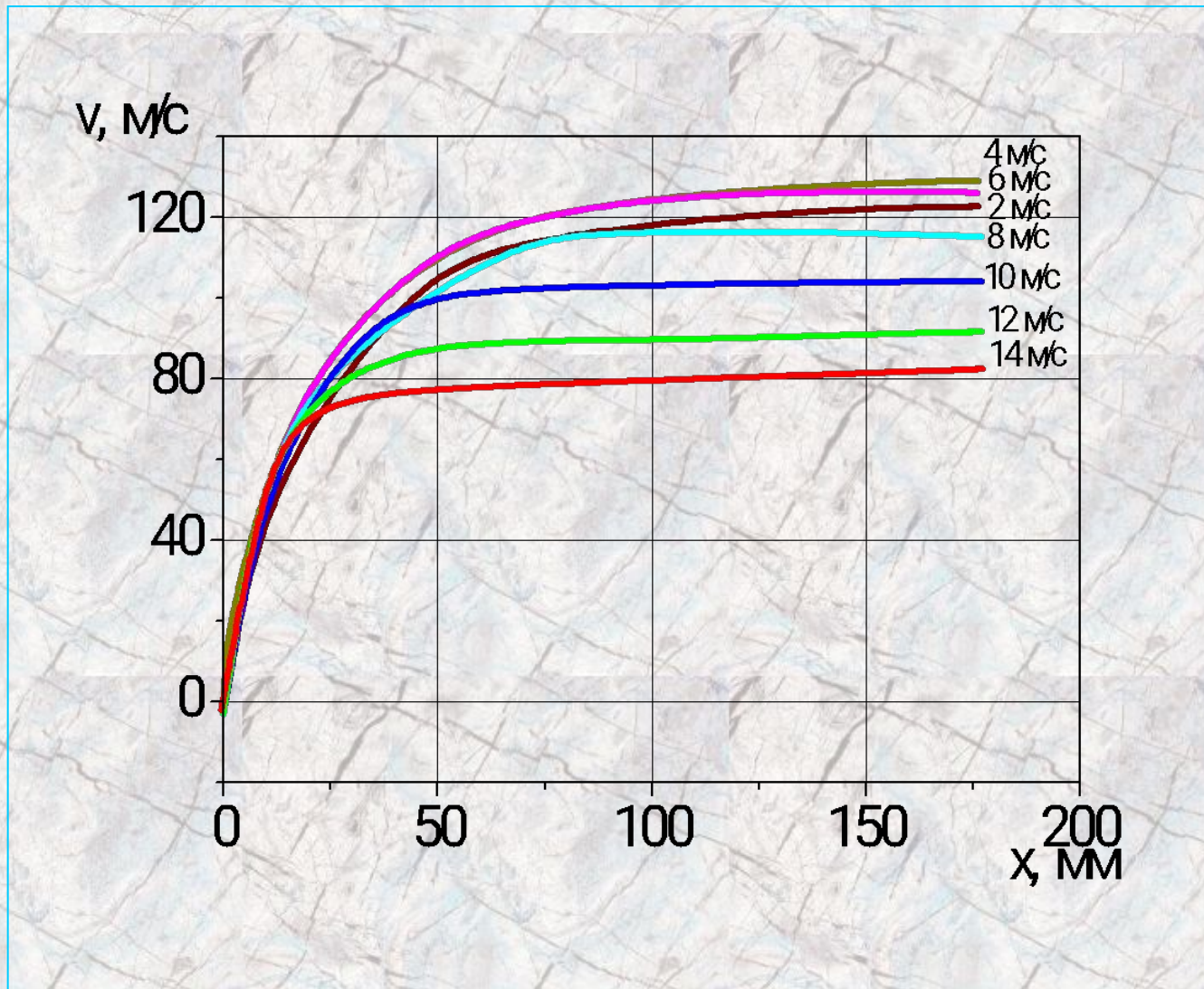
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА И ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ



Траекторию движения частиц в плазменной струе



Изменение скорости полета частиц порошка вдоль оси плазменной струи с момента их ввода



Изменение температуры в центре частицы при нахождении в плазменной струе

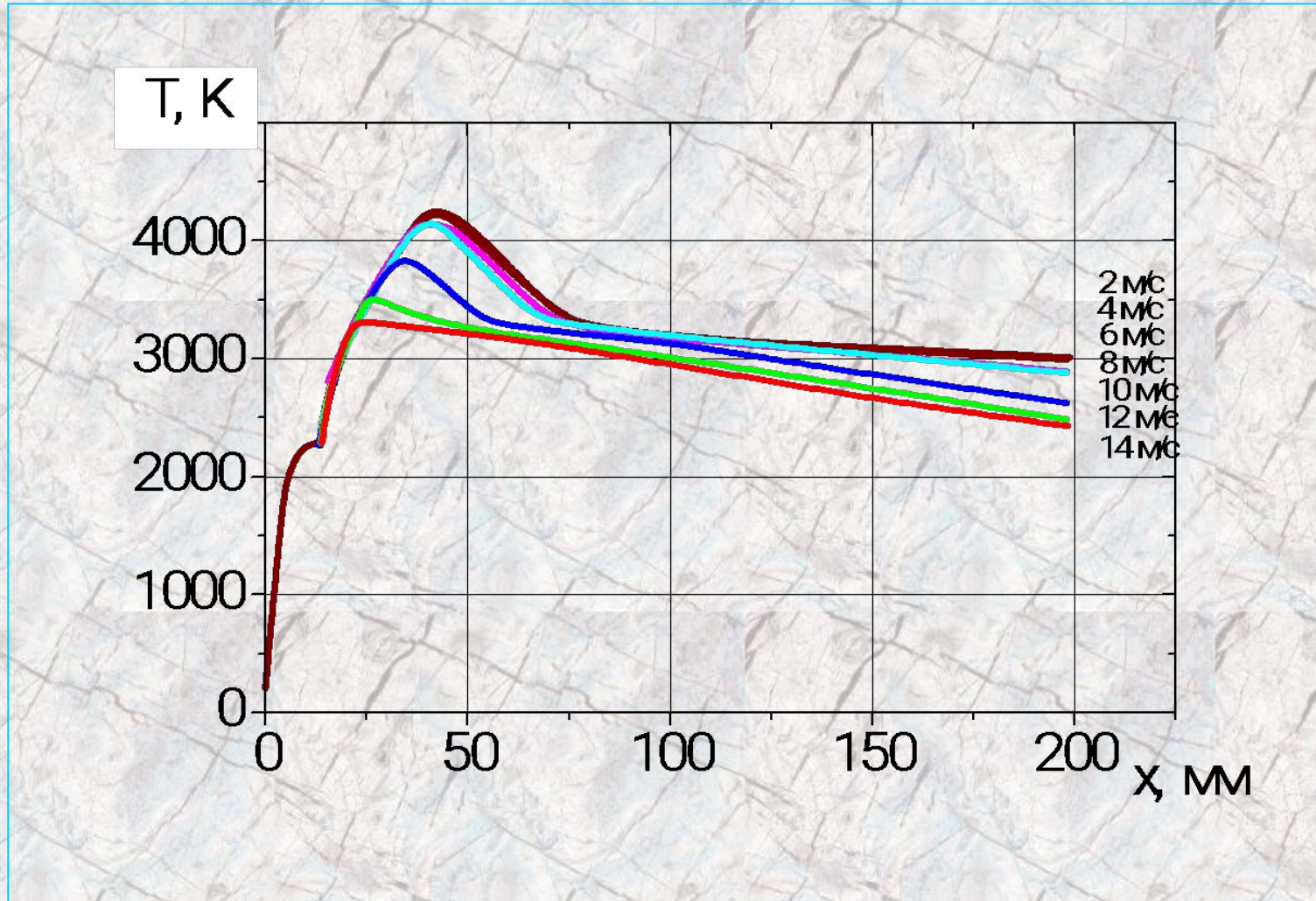


Таблица 1.

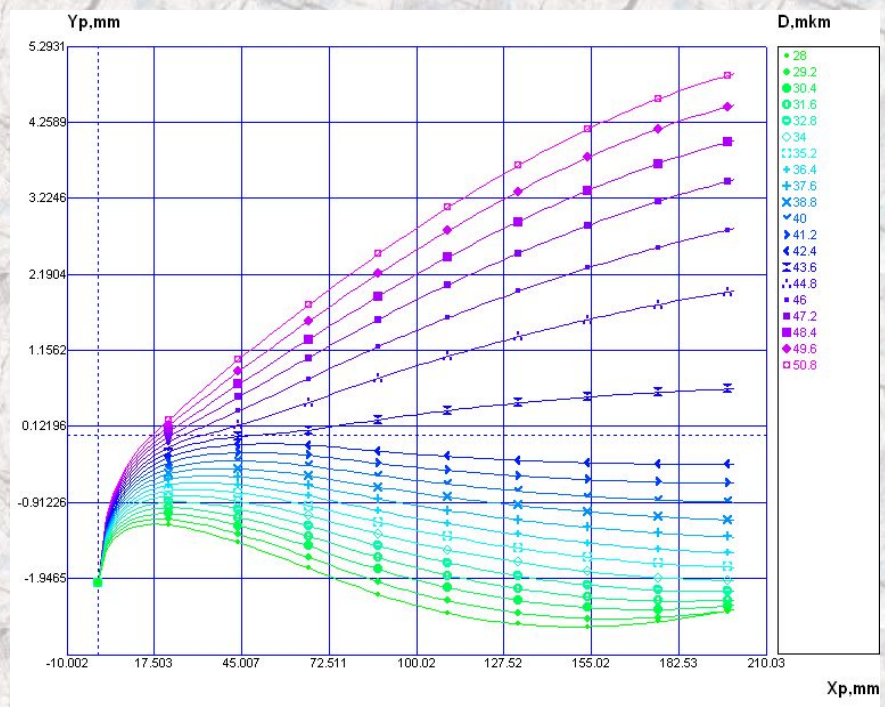
Начальная скорость частиц порошка вводимого в плазменную струю, м/с	Диаметр частицы порошка в момент соударения с поверхностью, мкм	Максимальная скорость частиц в плазменной струе, м/с	Пористость покрытия, %	Шероховатость покрытия, мкм
2	38	120	4.4	11.0
4	37	125	4.19	10.8
6	37	122	4.06	10.6
8	39	115	4.00	10.0
10	44	105	4.03	13.0
12	51	95	4.20	15.5
14	59	85	4.26	16.6

Комплексное моделирование процесса плазменного напыления

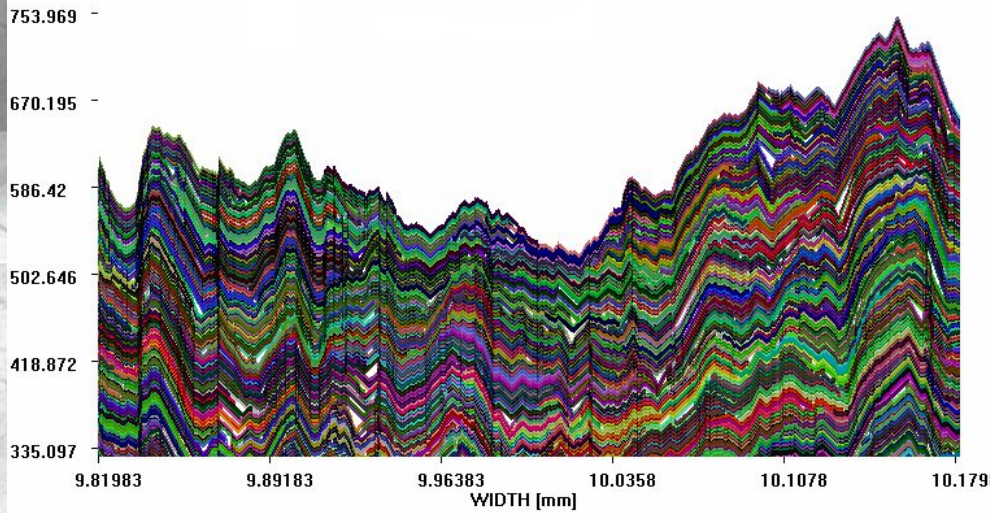
Исследования проведены со следующими исходными данными:

- плазмообразующий газ – Ar (100%), Ar+H (90%+10%);
- материал напыляемого порошка - Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂;
- начальный диаметр частиц – D = 40 мкм;
- начальная температура - 300 К;
- дистанция напыления - 200 мм;
- начальная скорость 8 – 12 м/с.

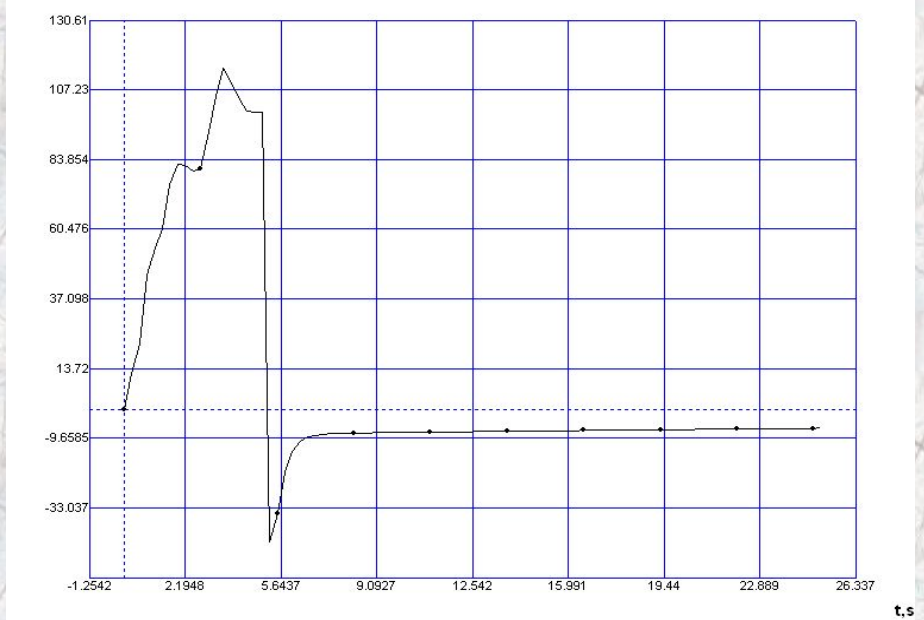
Траектория полета частиц



Структура покрытия TiO_2 , пористость 5,5%.



SigXX, MPa



Динамика изменения напряжений в интерфейсном слое системы покрытие-основание

Порошок	Al ₂ O ₃				ZrO ₂				TiO ₂			
	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H
Плазмообразующий газ												
Начальная скорость ввода частиц, V ₀ , м/с	8		12		8		12		8		12	
Дистанция проплавления, мм	45	40	70	45	50	45	80	50	40	38	50	43
Скорость частиц в момент соударения, V _г , м/с	163	175	155	157	105	105	92	82	180	190	160	170
Шероховатость, R _z , мкм	16,1 – 8,1				10-7				8,5 -6,5			
Пористость, %	9,88 – 8,96				3,58 – 2,03				7,5 - 5,5			

Эксперимент 1: Получение двухслойного износостойкого покрытия (основа - серый чугун, марки СЧ-10, подслой - механическая смесь ПН85Ю15 и ПН70Ю30, защитный слой – многокомпонентный порошок МКП 1 (Al_2O_3 и ZrO_2)).

Разработан технологический процесс восстановления волоочильных пирамид ЗАО «Уралкабель».

Эксперимент 2: Получение термостойкого покрытия. Порошковые материалы: подслой – ПТНА-01; основные слои – Al_2O_3 (механическое плакирование мелкодисперсным Al); МКП 2 (основа TiO_2 с подшихтовкой ПГСР-3, 4 от 10 до 50%).

Разработан технологический процесс упрочнения металлических отжиговых поддонов для прокалки катализаторов.

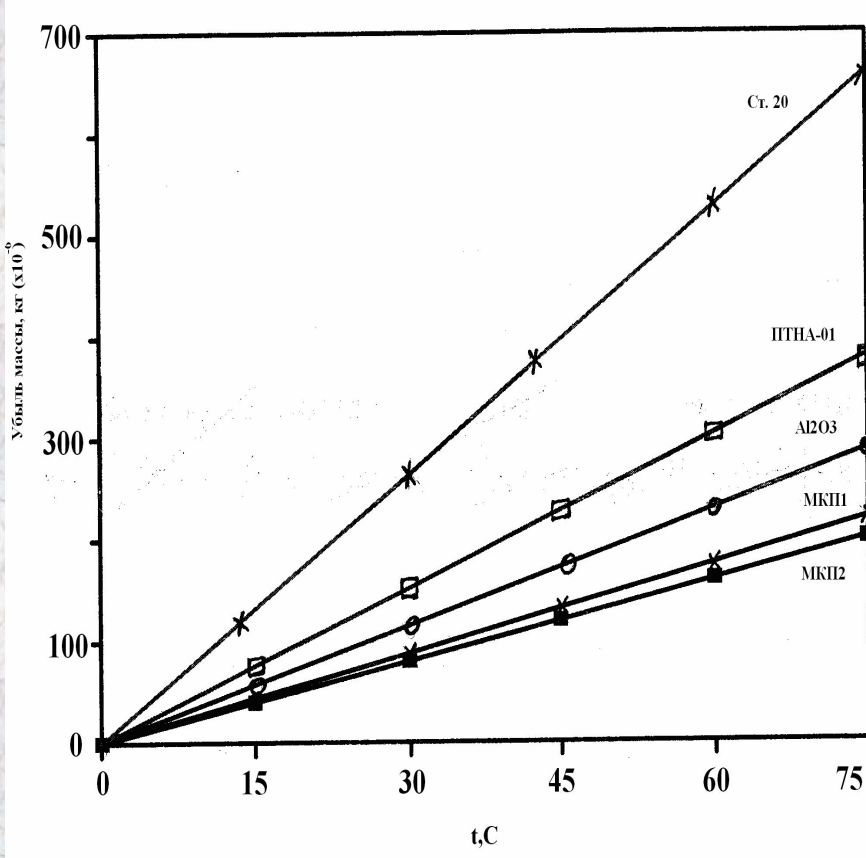
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Средние значения твердости покрытий исследуемых материалов.

№	Порошок	Твердость, HRC	Толщина покрытия, мм
1.	МКП 1	59	2.0
2.	МКП 2	61	2.0
3.	Al2O3	57	2.0

Средние значения прочности сцепления покрытия с подложкой, σ кг/мм².

№	Порошок	Дробеструйная обработка	Дробеструйная обработка с травлением 10% HNO ₃
1.	МКП 1	22	37
2.	МКП 2	23	38
3.	Al2O3	19	28



Зависимость износа от времени испытаний