



МЕТОДИКА ТЕРМОГРАВИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Старший научный сотрудник Военной академии
Ракетных войск стратегического назначения
имени Петра Великого
кандидат технических наук

Запонов Арсений Эдуардович



Цель, задачи

Цель работы –

разработка и обоснование работоспособности методики термогравиметрического анализа различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков.

Задачи работы:

1) разработка методики термогравиметрического анализа различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков;

2) проведение экспериментальных исследований термогравиметрического анализа различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков;

3) валидация математической модели терморазложения композиционного материала по экспериментальным данным, полученным в результате термогравиметрического анализа.



Математическая модель терморазложения композиционных материалов

$$\rho(T, n_i) \cdot c(T, n_i) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T, n_i) \frac{\partial T}{\partial x} - c_g \cdot G(T) \cdot T \right) + W_{хим}(T) + W_{ЛИ}(T)$$

где $\rho(T, n_i)$, $c(T, n_i)$, $\lambda(T, n_i)$ - плотность, теплоёмкость и теплопроводность материала, зависящие от температуры;

n_i - массовые доли кокса, наполнителя и связующего;

c_g - теплоёмкость газа;

$G(T)$ - расход газообразных продуктов термического разложения;

$W_{хим}(T)$ - энергия, затраченная на химические реакции;

$W_{ЛИ}(T)$ - поглощённая энергия ЛИ, определяемая по закону Бугера с учётом отражения и поглощения излучения в продуктах терморазрушения материала.

$$\lambda(T, n_i) = (1 - \Pi(T)) \cdot \lambda_T(T, n_i) + \Pi(T) \cdot \lambda_{Л}(T)$$

$$W_{ЛИ}(T) = q_0 \cdot (1 - R_0(T)) \cdot (1 - \theta(T)) \cdot \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right)$$

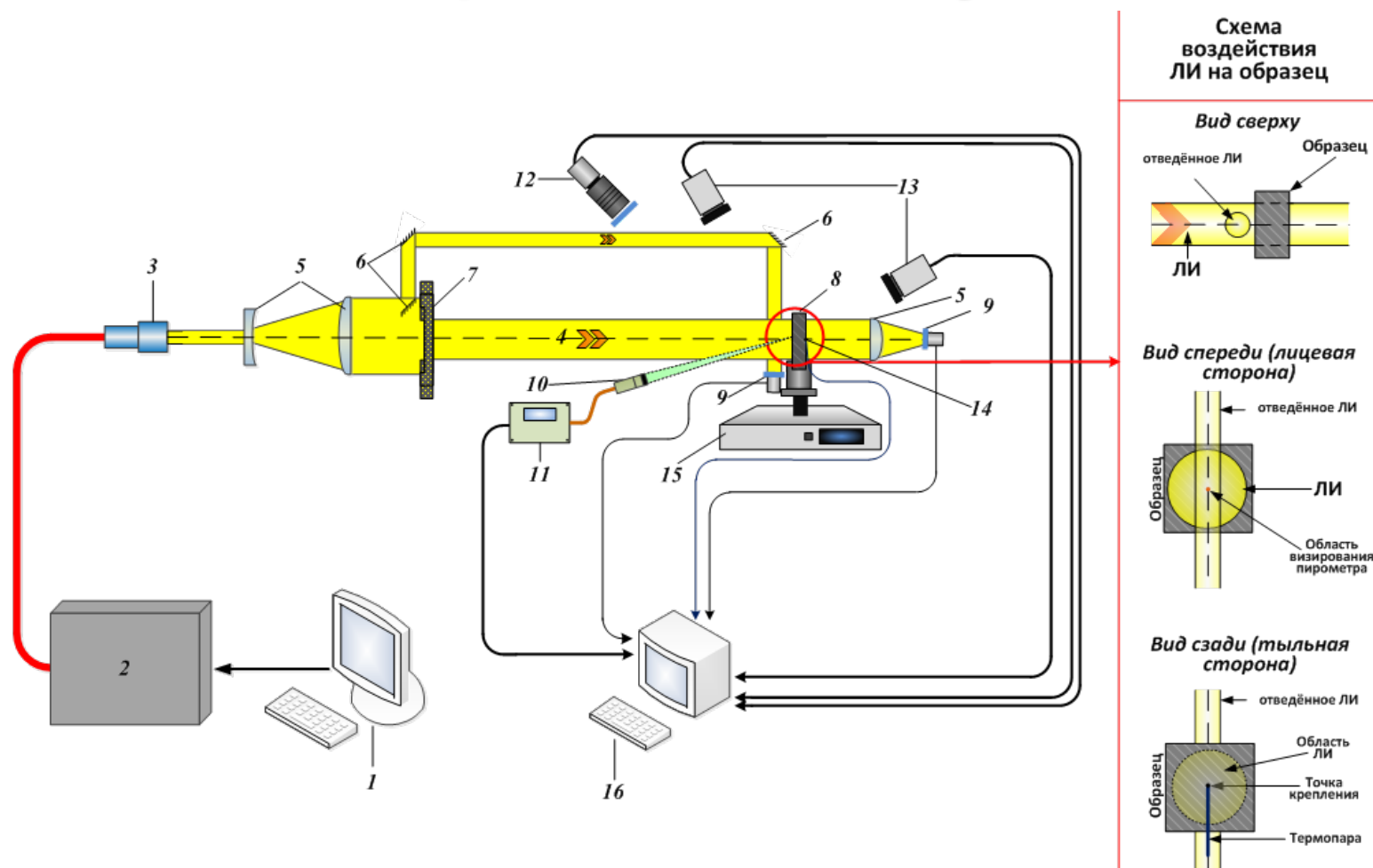
$$G(T) = a \frac{P^H - P_v}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \frac{R}{M} \cdot T}}$$

$$G(T) = \Pi(T) \cdot \rho_g \cdot v_g = - \int_L^x \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dx$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = (\rho_K - \rho) \cdot B \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right)$$



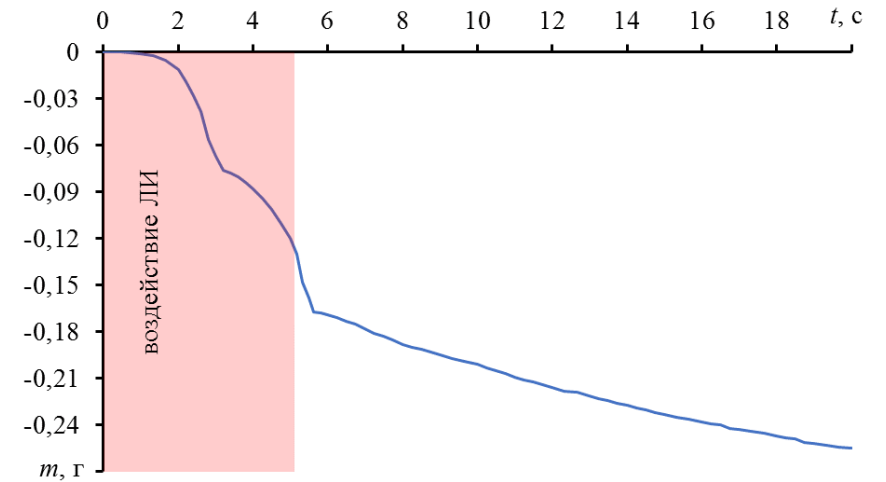
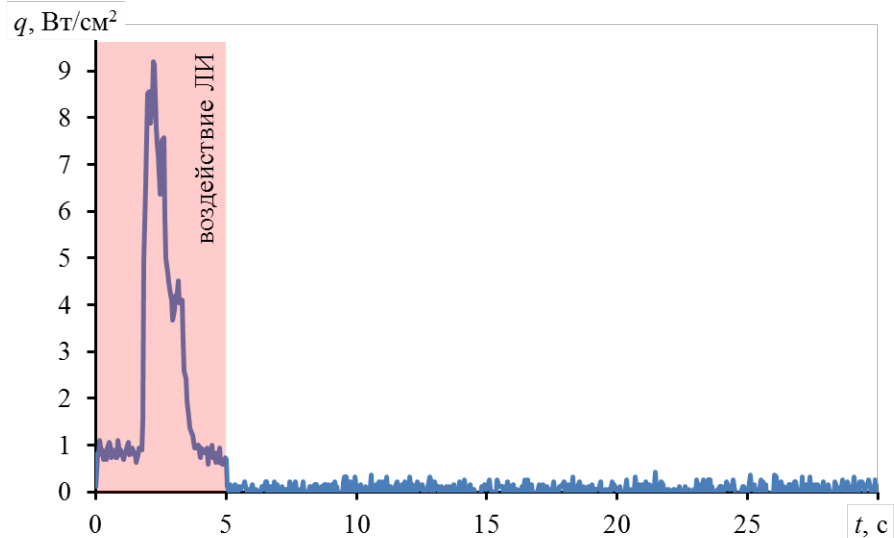
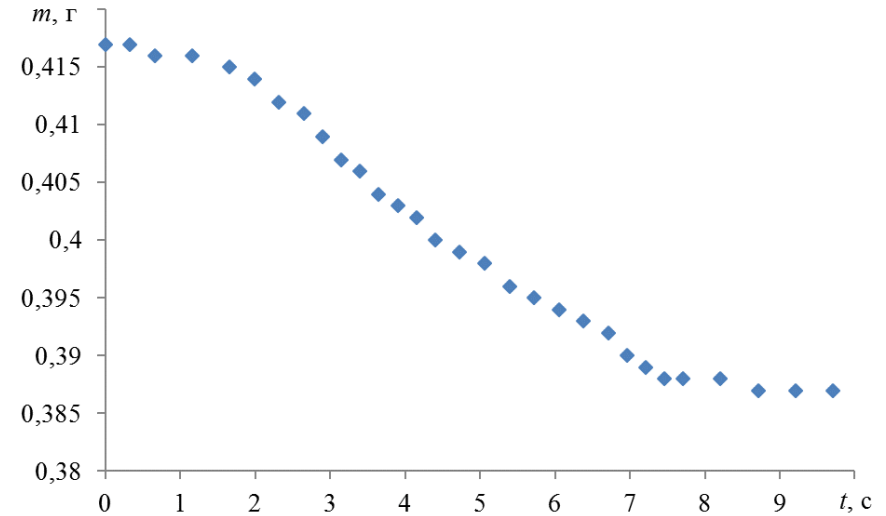
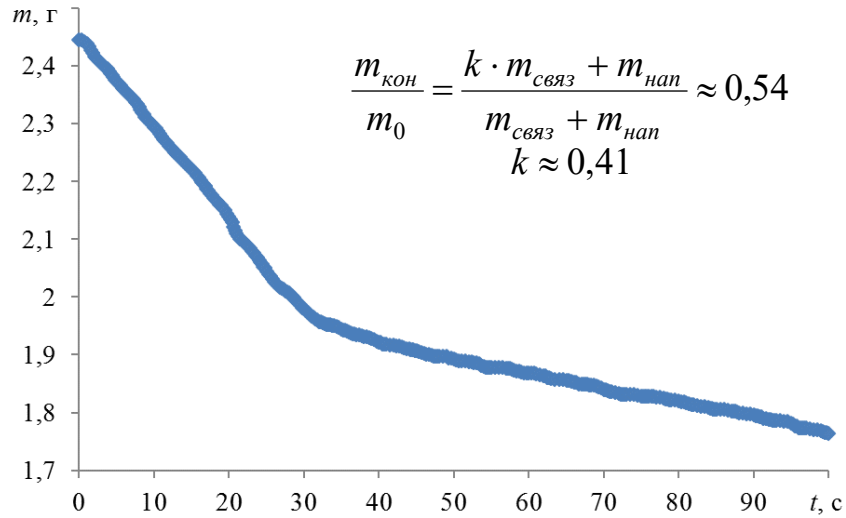
Схема экспериментальной установки



1 – управляющий компьютер; 2 – лазер; 3 – коллиматор; 4 – ЛИ; 5 – линза; 6 – зеркало; 7 – диафрагма; 8 – образец; 9 – фотодиод со светофильтром; 10 – измерительная головка пирометра; 11 – блок анализатора пирометра; 12 – видеокамера; 13 – тепловизор; 14 – термопара; 15 – весы; 16 – система регистрации и сбора данных.

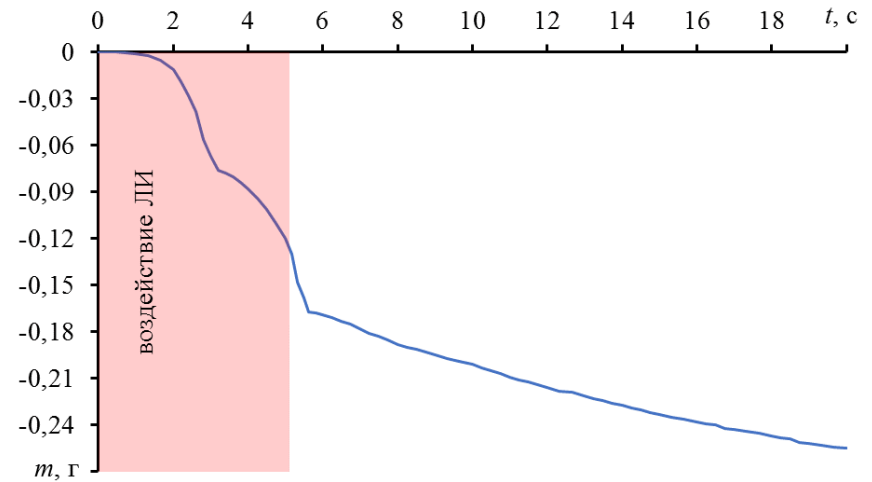
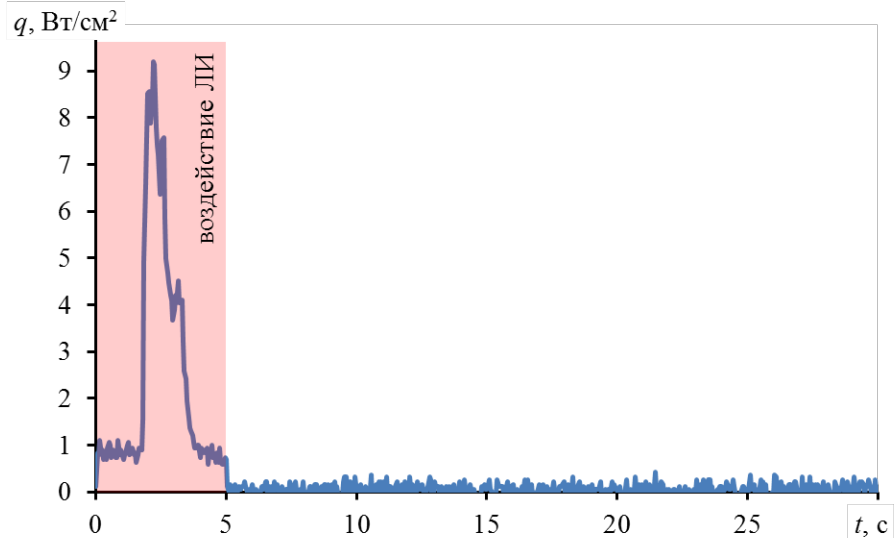
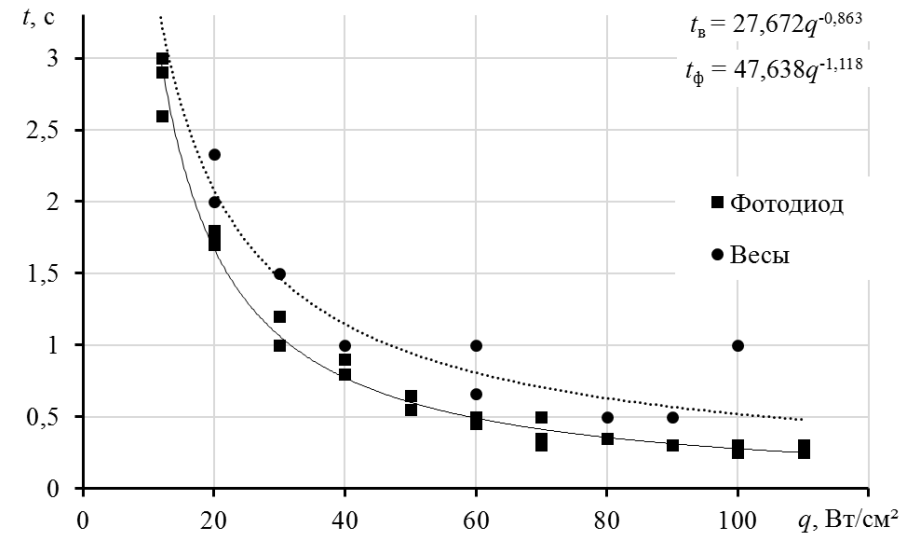
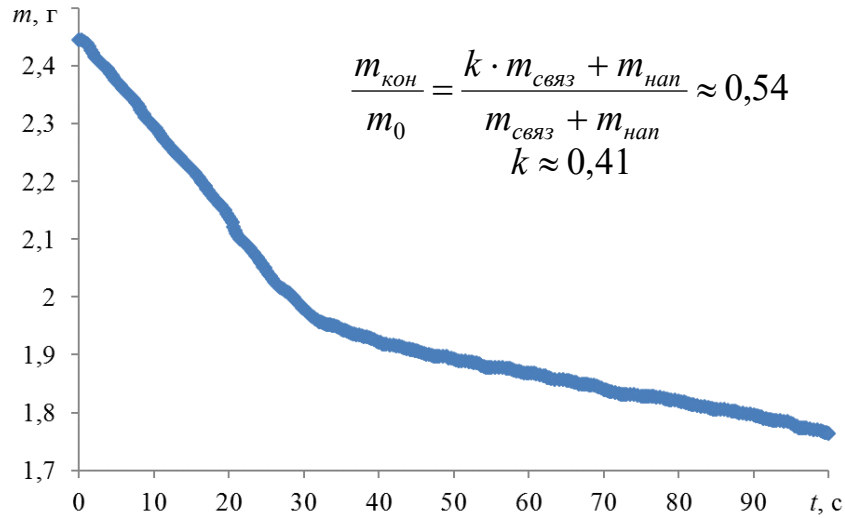


Коксовое число и унос массы



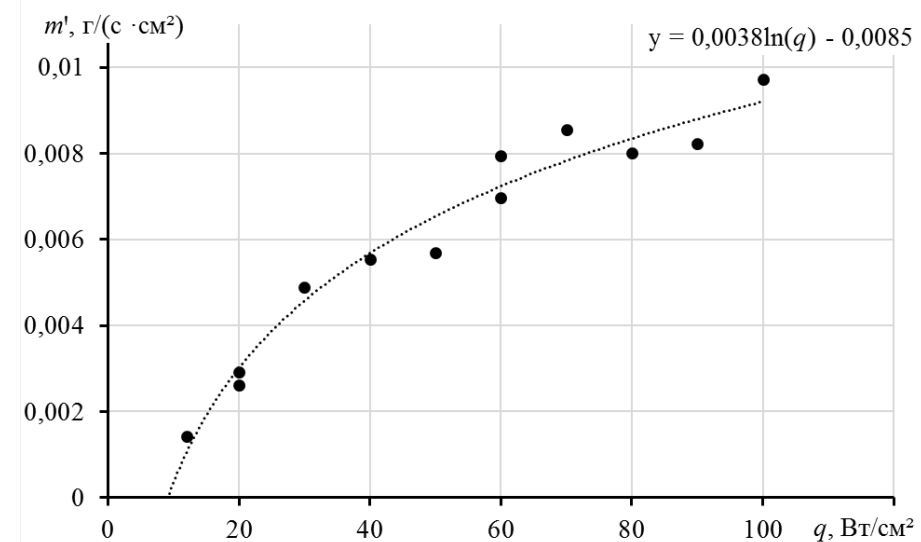
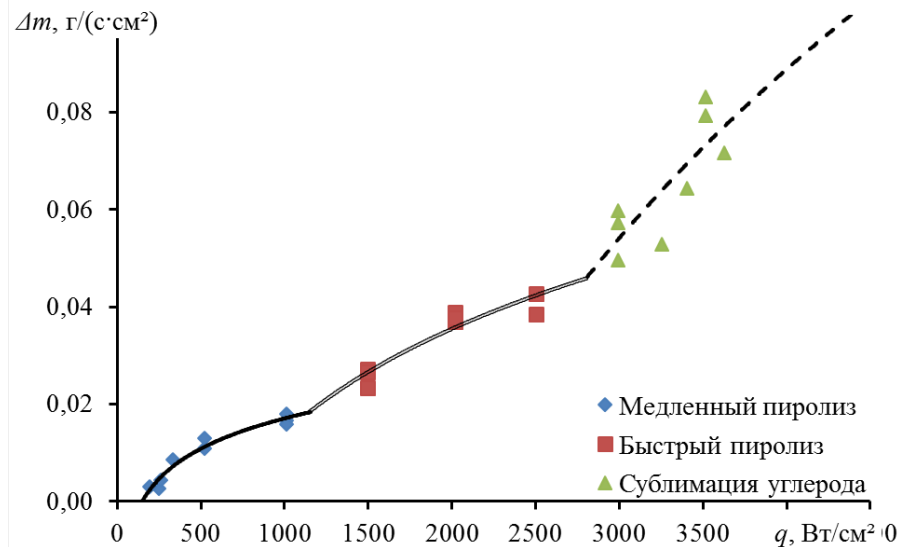
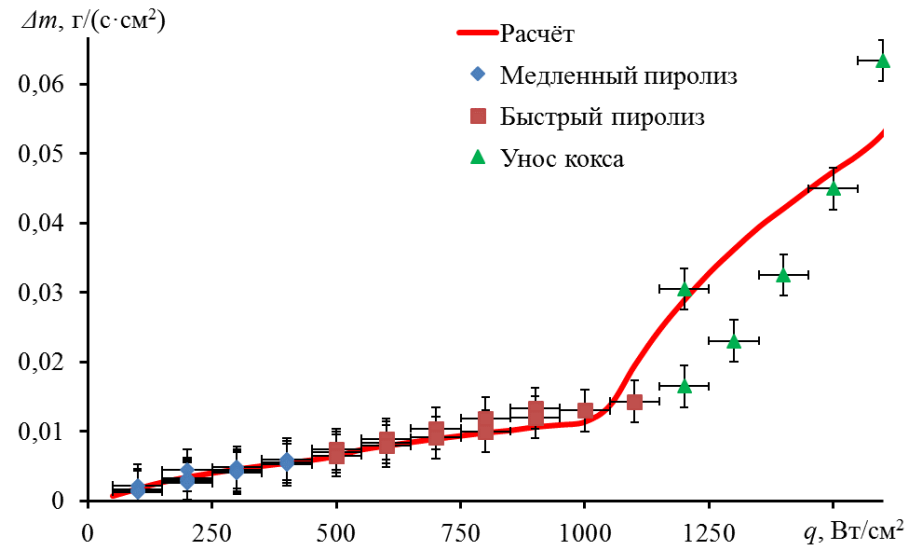
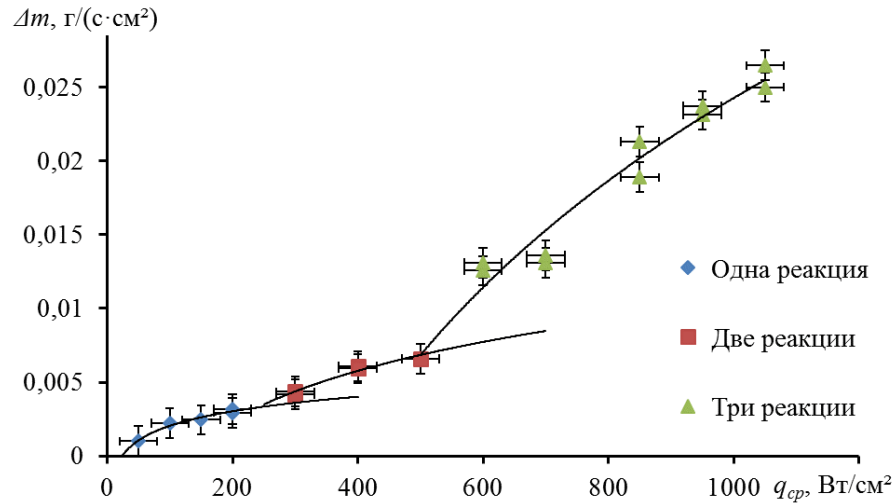


Коксовое число и унос массы



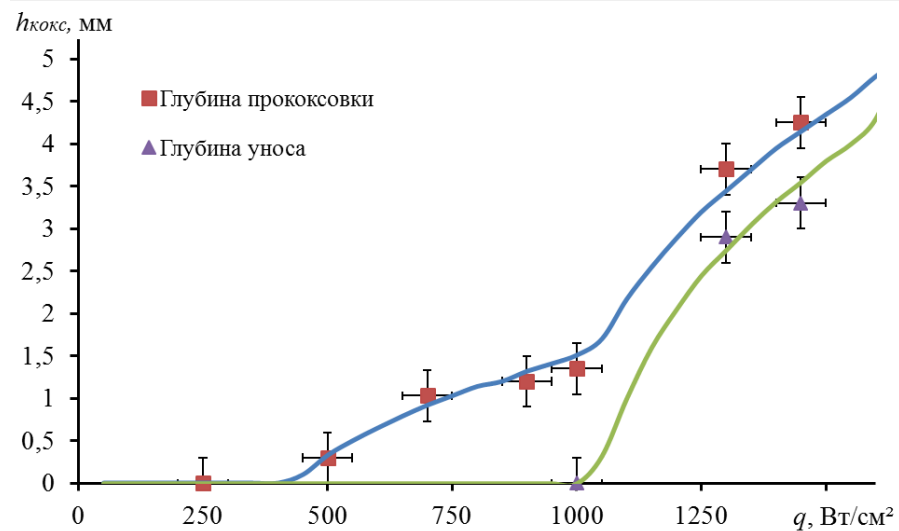
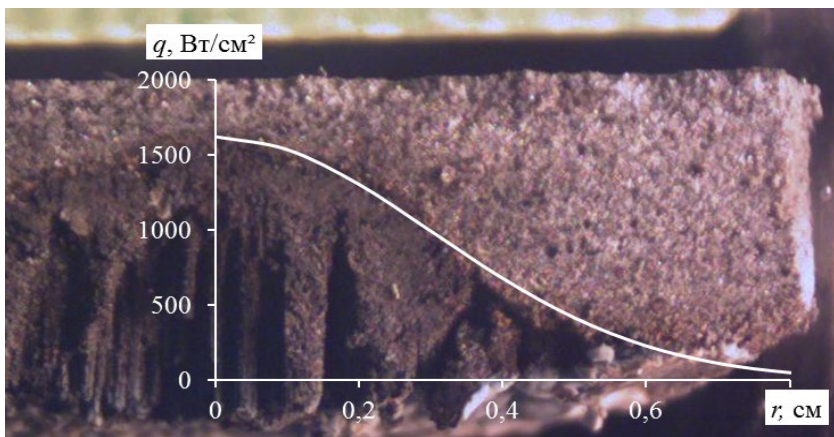
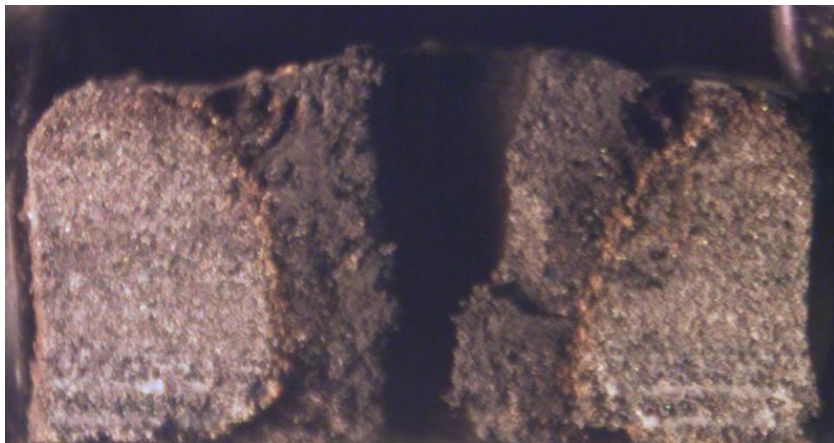


Скорость уноса массы



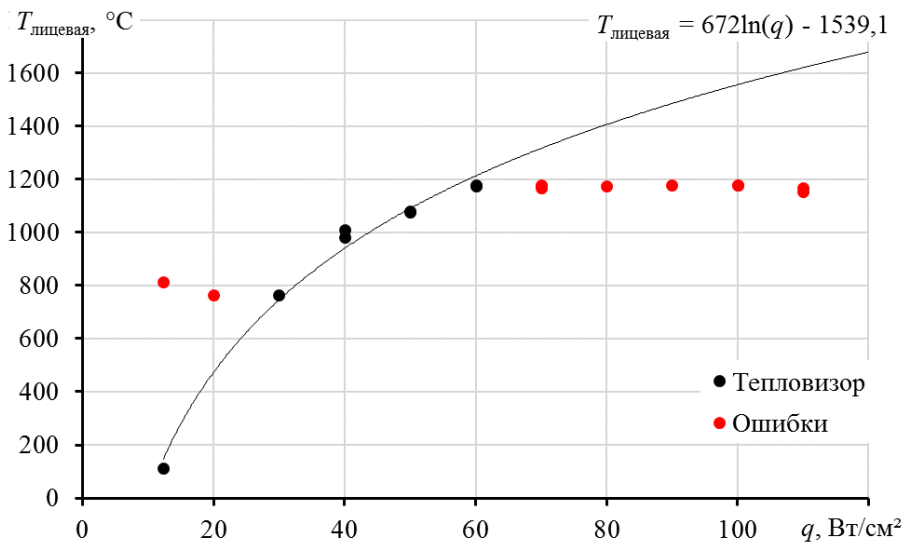
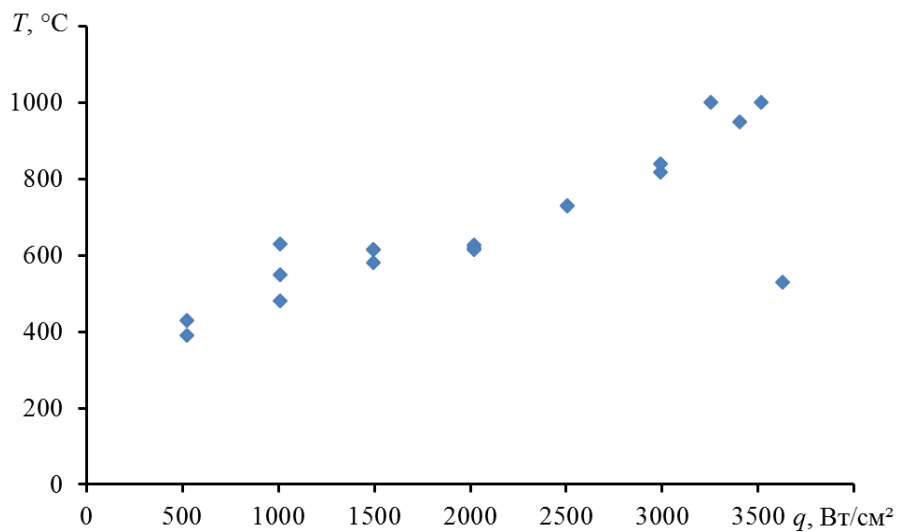
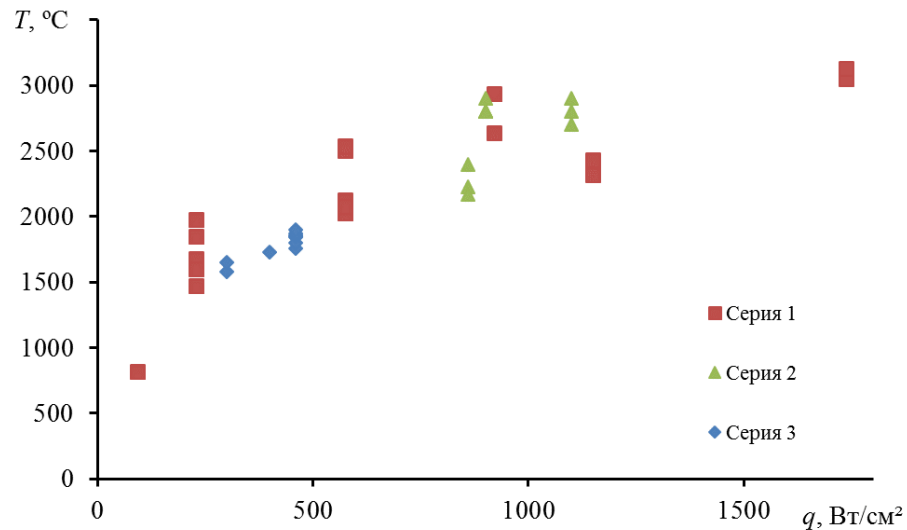
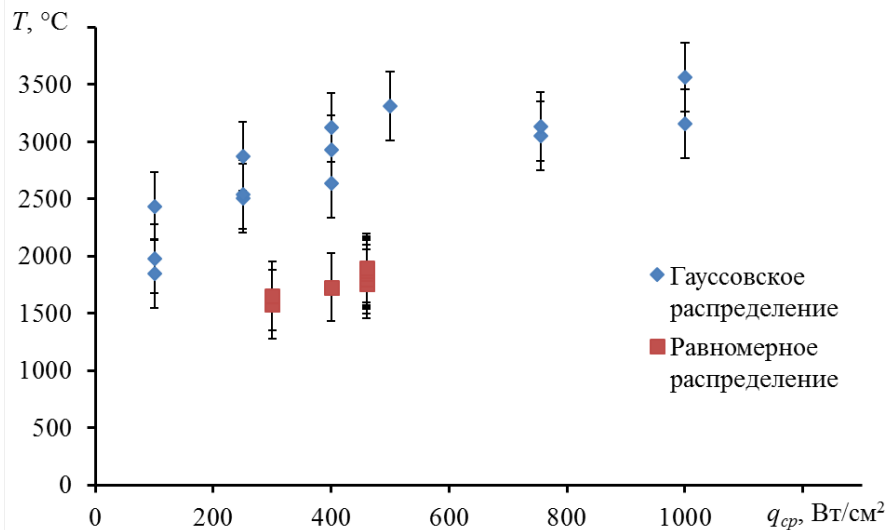


Глубина пиролиза и уноса материала



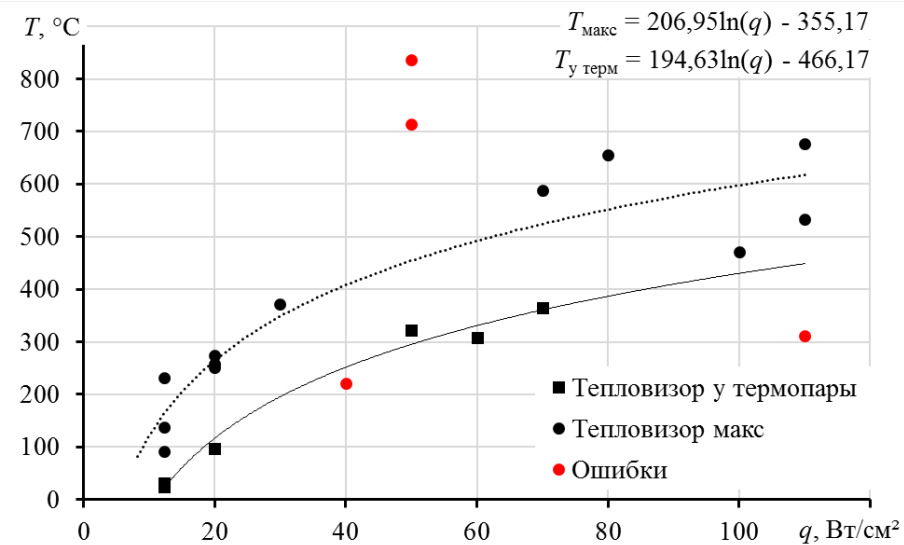
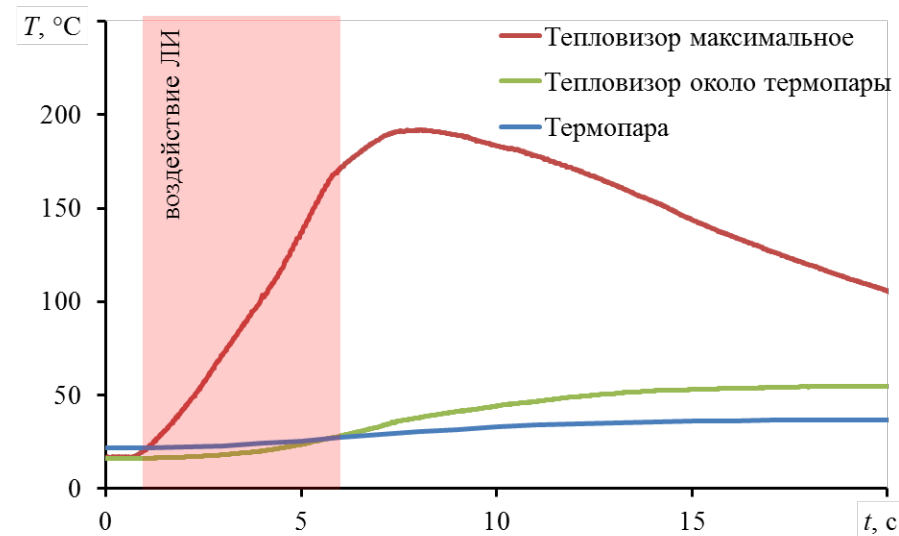
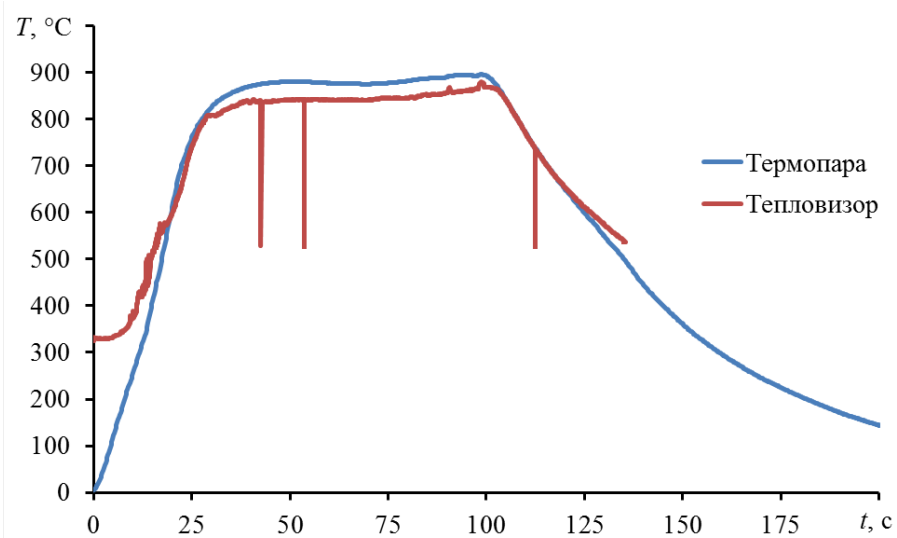
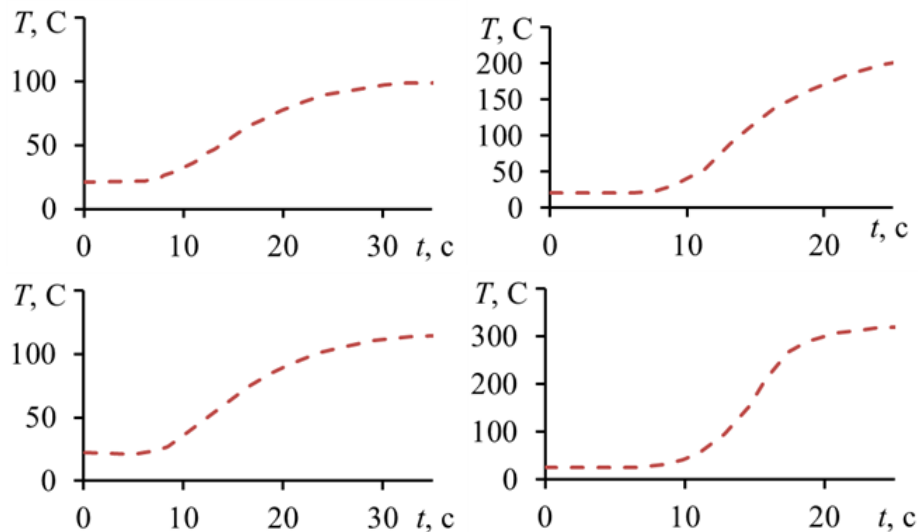


Яркостная температура передней поверхности



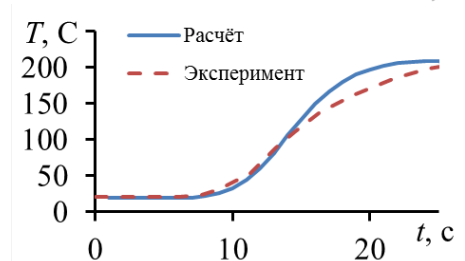
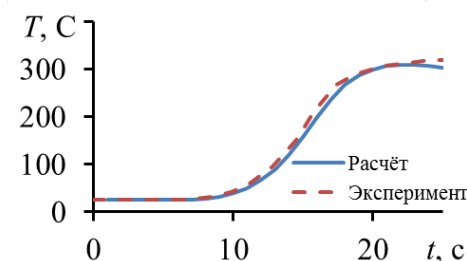
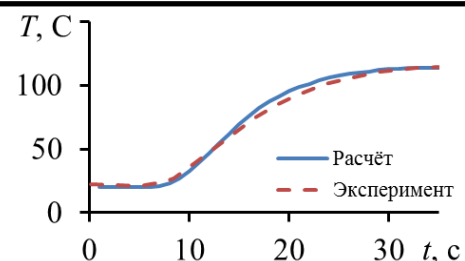
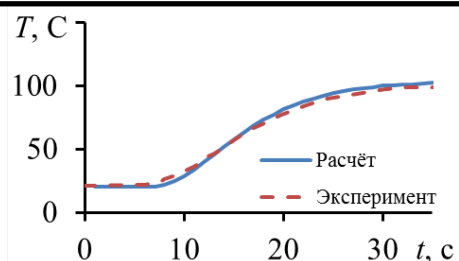
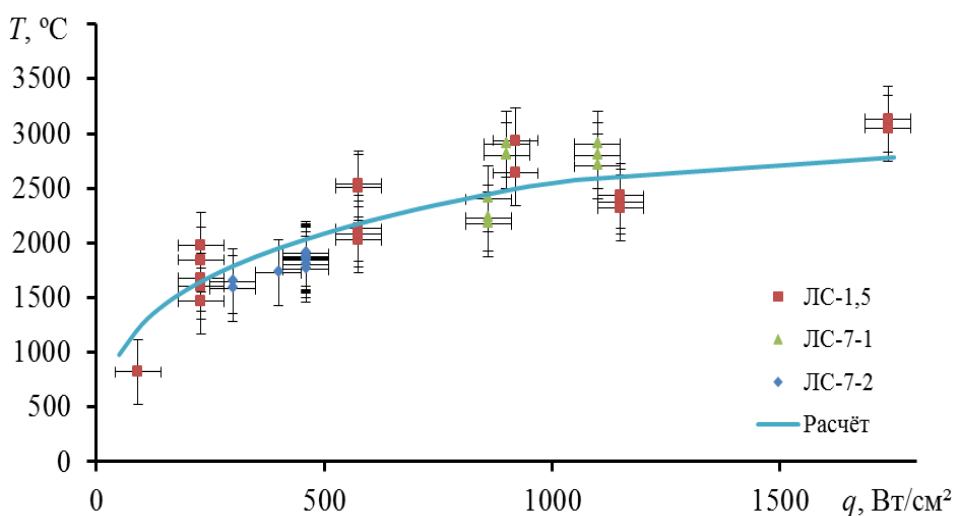
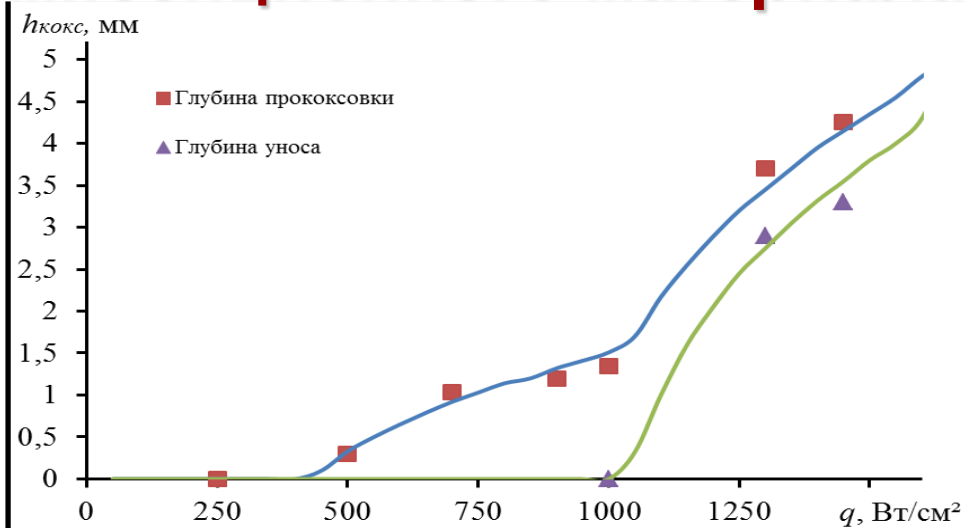
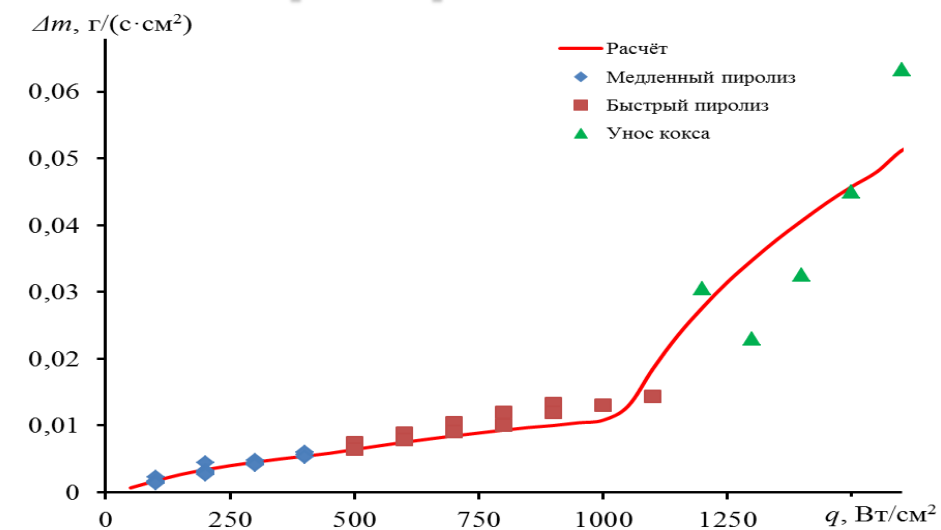


Температура задней поверхности





Валидация математической модели терморазложения композиционного материала



ВЫВОД: максимальная относительная погрешность не превышает 10%



Основные выводы по работе

1. Разработана методика термогравиметрического анализа различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков.
2. Проведены экспериментальные исследования термогравиметрического анализа различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков;
3. Проведена валидация математической модели терморазложения композиционного материала по экспериментальным данным, полученным в результате термогравиметрического анализа.

Направление дальнейших исследований:

- 1) разработка и валидация трёхмерной математической модели термического разложения различных классов композиционных материалов в широком диапазоне значений воздействующих тепловых потоков.