



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИШНПТ

\_\_\_\_\_ Р.В. Оствальд

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА  
КОМПОНЕНТОВ В КОМПОЗИЦИОННОМ  
МАТЕРИАЛЕ**

Методические указания к выполнению лабораторной и  
самостоятельной работы по курсу

**«Современные композиционные материалы»**

для студентов направления подготовки **бакалавров**

**18.03.01 Химическая технология**

**УДК 936.5:546.284**

**Определение количества компонентов в композиционном материале.**

Методические указания к лабораторному практикуму и самостоятельной работе студентов по курсу «Современные композиционные материалы» для студентов направления подготовки бакалавров 18.03.01 Химическая технология

Томск: Изд. ТПУ, 2025 - 9 с.

Составитель: **к.т.н., доцент Сударев Е.А.**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром НОЦ Н.М Кижнера  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Заведующий кафедрой - руководитель  
научно-образовательного центра  
на правах кафедры, д.х.н, профессор \_\_\_\_\_ Е.А. Краснокутская

*Рецензент*

Доктор технических наук, профессор ТПУ  
*В.И. Верещагин*

© Составление ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2025  
© Сударев Е.А., составление 2025

## 1. Общие теоретические сведения

Наполнители в материалах на основе силикатных дисперсных систем позволяют практически неограниченно направленно регулировать в них технологические и эксплуатационные свойства.

При изготовлении изделий из композиционного материала (*КМ*) предварительно определяются технологические свойства связующего, которым пропитываются дисперсные наполнители (волокна, мелкодисперсные порошки и др.). После отверждения, связующее склеивает между собой дисперсные наполнители, обеспечивая их совместную работу в композите.

В настоящее время для получения *КМ* широко применяются связующие на основе *полиэфирных, эпоксидных и модифицированных фенолоформальдегидных* смол. Одним из основных показателей структуры композиционного материала, который влияет на свойства полученного изделия, является соотношение компонентов.

Процесс изготовления изделий *КМ* состоит из последовательных стадий:

- определение типа связующего и наполнителя;
- расчет соотношения компонентов *КМ*;
- изготовление (или выбор) связующего – смешивание компонентов в заданных пропорциях;
- формование изделий в соответствии с размерами формы;
- отверждение изделий в соответствии с заданными режимами;
- получение готовых изделий.

Массовое содержание компонентов в *КМ*, а именно связующего компонента определяется методами выжигания или гравиметрическим методом.

Расчеты по данным методам предполагают отсутствие пор в исходном материале. Если материал пористый, то необходимо проводить расчеты с учетом этого параметра.

Наиболее быстрым и неразрушающим методом контроля степени наполнения является гравиметрический [1].

## 2. Лабораторная №1. Расчет массового содержания компонентов в композиционном материале

**Цель работы:** на основе заданных компонентов изготовить *КМ* с заданной структурой и соотношением компонентов.

Расчет массы компонентов в композиционном материале.

**Ход работы:** первоначально определяют необходимый объем  $V_{\text{КМ}}$  ( $\text{м}^3$ ) *КМ*:

$$V_{\text{КМ}} = l \cdot b \cdot h,$$

где  $l$ ,  $b$ ,  $h$  – длина, ширина, толщина пластины *КМ*., толщину выбирают в зависимости от стандарта на испытания *КМ* ( $h = 2\text{--}10$  см).

Зная объем материала, определяют его массу  $m_{\text{КМ}}$ , **кг**

$$m_{\text{КМ}} = \rho_{\text{КМ}} \cdot V_{\text{КМ}},$$

где  $\rho_{\text{КМ}}$  – плотность *КМ*,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Плотность материала  $\rho_{\text{КМ}}$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) определяют осреднением, зная соотношение компонентов (задано преподавателем).

$$\rho_{\text{КМ}} = \rho_a \cdot P_a + \rho_c \cdot P_c,$$

где  $\rho_a$  – плотность наполнителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_c$  – плотность связующего,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (определяется по правилу смеси);  $P_a$ ,  $P_c$  – объемное содержание наполнителя и связующего в *КМ* соответственно, доли ед.

Степень наполнения для технологического процесса задается в массовых долях, а для расчетов – в объемных долях. Связь между массовым  $C$  и объемным  $P$  содержанием компонентов выражается соотношениями:

$$C_a = \frac{P_a \cdot \rho_a}{P_a \cdot \rho_a + P_c \cdot \rho_c}, \quad C_c = 1 - C_a;$$

$$P_a = \frac{C_a \cdot \rho_c}{C_a \cdot \rho_c + C_c \cdot \rho_a}.$$

Предполагают, что пористость отсутствует, т. е. равна нулю.

Массу компонентов ( $g$ ) для изготовления *КМ* определяют из их массового соотношения:

$$m_a = m_{\text{КМ}} \cdot C_a, \quad m_c = m_{\text{КМ}} \cdot C_c.$$

где  $m_a$ ,  $m_c$  – масса наполнителя и связующего соответственно, **кг**;  $C_a$ ,  $C_c$  – массовое содержание наполнителя и связующего соответственно; доли ед.

Путем тщательного смешивания эпоксидной смолы с силикатным наполнителем (выданным по заданию преподавателя) готовят не менее **6** образцов композиционного материала.

По результатам расчетов заполняют **табл.1-2**.

**Таблица 1.** Физические характеристики композиционного материала

Материал	Образец композиционного материала					
	Размеры, см			Объем, см <sup>3</sup>	Масса, г	Плотность, г/см <sup>3</sup>
	длина	ширина	толщина			

**Таблица 2.** Соотношение компонентов в композиционном материале

Компоненты КМ	Агрегатное состояние	Соотношение	Содержание, масс.%	Кол-во, г
Наполнитель				
Связующее				

**Примечание:** Число слоев тканого наполнителя  $N_a$  для изготовления **КМ**:  $N_a = m_a/m_{1c}$ , где  $m_a$  – масса арматуры, г;  $m_{1c} = \gamma_a \cdot l \cdot b$  – масса одного слоя арматуры, г, определяется расчетным путем или взвешиванием;  $\gamma_a$  – поверхностная плотность слоя армирующего материала, г/м<sup>2</sup>.

Полученное значение  $N_a$  округляют до целого (ближайшего большего).

Пересчитывают массу связующего для поддержания заданной степени наполнения.

После расчета учитывают технологические отходы, например остатки связующего на инструменте, для чего количество связующего увеличивают примерно на 20%.

Аналогично проводят расчет компонентов для всех видов **КМ** [1].

### **3. Лабораторная работа №2. Определение соотношения компонентов в полученном композиционном материале**

**Цель работы:** научиться определять соотношение компонентов в материале методом выжигания и гравиметрическими методами.

#### **Эксперимент №1. Определение соотношения компонентов по методу выжигания**

**Оборудование и материалы:** образцы композиционного материала, весы с точностью до 0,001 г, муфельная печь, эксикатор, тигли.

**Ход работы:** готовят не менее трех образцов композиционного материала любой формы и размеров.

Тигли прокаливают в муфельной печи при температуре **650±5 °C** в течение **20 мин** и охлаждают в эксикаторе.

Образцы КМ взвешивают на электронных весах с точностью до 0,001 г и помещают в предварительно взвешенные с такой же точностью тигли. Тигли с материалом переносят в муфельную печь при температуре  $650 \pm 5$  °С на **15–20 мин**, чтобы выжечь связующее. Затем тигли помещают в эксикатор и охлаждают до комнатной температуры, после чего взвешивают с той же точностью.

Массовые доли наполнителя и связующего в процентах определяют из соотношений:

$$C_a = \frac{m_a}{m_{\text{КМ}}}, C_c = 1 - C_a,$$

где  $m_a$  – масса остатка после прокаливания, г;  $m_{\text{КМ}}$  – исходная масса образца композиционного материала, г.

Для определения объемного содержания наполнителя  $P_a$  необходимо знать плотность композиционного материала и наполнителя:

$$P_a = \frac{m_a / \rho_{\text{КМ}}}{m_{\text{КМ}} / \rho_a},$$

где  $\rho_{\text{КМ}}$ ,  $\rho_a$  – плотности композиционного материала и наполнителя соответственно, г/см<sup>3</sup>.

Приведенные расчеты предполагают отсутствие пор в исходном материале. Если материал пористый, то необходимо проводить расчеты с учетом пористости. Если известна плотность матрицы, то можно определить объемное содержание пор  $P_p$

$$P_p = 1 - \frac{m_a / \rho_a + (m_{\text{КМ}} - m_a) / \rho_c}{m_{\text{КМ}} / \rho_{\text{КМ}}} \text{ или } P_p = 1 - (P_a + P_c),$$

где  $\rho_{\text{КМ}}$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_c$  – плотности композиционного материала, наполнителя и связующего соответственно, г/см<sup>3</sup>.

По результатам эксперимента заполняют **табл.3**. Сравнивают полученное значение степени наполнения с заданной изначально, делают вывод.

**Таблица 3.** Метод выжигания

Материал	№ образца	$m_t$ , Г	$m_{\text{КМ}}$ , Г	$m_a$ , Г	$C_a$	$P_a$	$C_c$	$P_c$	$P_p$
	1								
	...								
Среднее арифметическое значение									
Среднее квадратическое отклонение									
Коэффициент вариации, %									

## Эксперимент №2. Определение содержания компонентов гравиметрическим методом

**Оборудование и материалы:** образцы композиционного материала, весы с точностью до 0,001 г.

**Ход работы:** Берут образцы композиционного материала любой формы и размеров. Определяют плотность композита по одной из стандартных методик: гидростатическим взвешиванием или методом прямого обмера и взвешивания. Плотности исходных компонентов берут из справочника или определяют экспериментально.

Объемное содержание наполнителя рассчитывают по соотношению:

$$P_a = \frac{\rho_{\text{КМ}} - \rho_c}{\rho_a - \rho_c},$$

где  $\rho_{\text{КМ}}$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_c$  – плотности композиционного материала, наполнителя и связующего соответственно, г/см<sup>3</sup>.

Гравиметрический метод является точным только в случае полного отсутствия в композите пустот.

По результатам эксперимента заполняют **табл.4**. Сравнивают полученное значение степени наполнения с заданной изначально, делают вывод.

**Таблица 4.** Гравиметрический метод

Материал	№ образца	$\rho_{\text{КМ}}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_a$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>	$C_a$	$P_a$	$C_c$	$P_c$
	1							
	...							
Среднее арифметическое значение								
Среднее квадратическое отклонение								
Коэффициент вариации, %								

**Выводы по лабораторной работе:** за результат принимают среднее арифметическое не менее трех результатов эксперимента. Сравнивают результаты определения соотношения компонентов по предлагаемым методикам и делают вывод.

## **Литература:**

1. Кордикова Е.И. Композиционные материалы. – Минск: Изд-во БГТУ, 2007. – 232 с.
2. Композиционные материалы: справочник / под ред. В. В. Васильева. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.
3. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 591 с.
4. Любин, Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2 т. / под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1989. – 2 т.

Учебное издание

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной  
работы по курсу «Современные композиционные материалы»  
для студентов направления подготовки бакалавров  
**18.03.01 Химическая технология**

*Составитель*

**Сударев Евгений Александрович**

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
С качеством представленного оригинал-макета

Подписано к печати 05.05.2025. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ.л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.  
Заказ . Тираж 20 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества

Издательство Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ** . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru