

УДК 666.92:620.22

Демиденко Елена Александровна, магистрант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

**НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ ГИПСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
МЕТОДЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА С
ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДНОГО НАНОМОДИФИКАТОРА
ФУЛЛЕРОИДНОГО ТИПА**

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ методов стандартизации и контроля качества гипсовых материалов, модифицированных углеродным наномодификатором фуллероидного типа (УНМ) и другими нанодобавками (SiO_2 , Al_2O_3). [1] Установлено, что:

- добавка 0.0001–0.5 мас. % УНМ повышает прочность гипса на 40–80%, снижает водопоглощение на 30% и улучшает морозостойкость до F50;
- нанодобавки SiO_2 (0.5%) и Al_2O_3 (0.3%) увеличивают прочность на 25–35% и сокращают водопоглощение на 10–15%.

Разработана система контроля качества, включающая SEM-анализ, ультразвуковые методы и адаптированные требования ГОСТ.

Abstract. The study examines standardization and quality control methods for gypsum modified with fulleroid-type carbon nanomodifier (CNM) and other nanoparticles (SiO_2 , Al_2O_3). Key findings:

- addition of 0.0001–0.5 wt.% CNM increases strength by 40–80%, reduces water absorption by 30%, and enhances frost resistance to F50;
- SiO_2 (0.5%) and Al_2O_3 (0.3%) improve strength by 25–35% and decrease water absorption by 10–15%.

A quality control system integrating SEM analysis, ultrasonic testing, and adapted GOST standards is proposed.

Ключевые слова: гипс, наномодификация, углеродный наномодификатор, оксид кремния, оксид алюминия, стандартизация, SEM-анализ.

Keywords: gypsum, nanomodification, carbon nanomodifier, silica, alumina, standardization, SEM analysis.

Введение

Гипс — перспективный строительный материал, но его низкая водостойкость и прочность ограничивают применение. Наномодификация углеродными наномодификаторами (УНМ) и оксидными добавками (SiO_2 , Al_2O_3) позволяет решить эти проблемы. Однако отсутствие специализированных стандартов затрудняет внедрение технологии.

Цель работы:

1. Сравнить эффективность УНМ, SiO_2 и Al_2O_3 в модификации гипса.
2. Разработать методы стандартизации и контроля качества на основе ГОСТ и ISO.

Методы исследования

1. Экспериментальные испытания:
 - добавки: УНМ (0.0001–0.5 мас. %), SiO_2 (0.5%), Al_2O_3 (0.3%);
 - испытания по ГОСТ 23789-2018 (прочность), ГОСТ 12730.2-2020 (водопоглощение) [2];
 - SEM-анализ микроструктуры.
2. Метрологический контроль:
 - дзета-потенциал (Malvern Zetasizer Nano);
 - ультразвуковой контроль плотности (УК-1401).

Результаты

Таблица 1. Рекомендуемые параметры наномодифицированного гипса

Параметр	Значение	Метод контроля
Содержание УНМ	0,01-0,5 мас. %	SEM-анализ
Прочность при сжатии	≥ 16 МПа (Г-16)	ГОСТ 23789-2018

Таблица 2. Влияние нанодобавок на свойства гипса

Параметр	Контроль	УНМ (0.05%)	SiO_2 (0.5%)	Al_2O_3 (0.3%)
----------	----------	-------------	-----------------------	--------------------------------

Прочность, МПа	8,2	14,7 (+80%)	10,4 (+30%)	10,0 (+25%)
Водопоглощение, %	28,5	15,8 (-30%)	20,6 (-15%)	21,9 (-10%)
Морозостойкость	F15	F50	F30	F25

2. SEM-анализ

УНМ формирует упорядоченную кристаллическую структуру, снижая пористость на 25%. SiO₂ и Al₂O₃ уменьшают размер пор до 1.3–1.5 мкм. [3-4]

Обсуждение

Стандартизация: предложены дополнения к ГОСТ 125-79:

- включить требования к наномодификаторам (тип, концентрация);
- добавить методы SEM-анализа и ультразвукового контроля.

Контроль качества:

1. Входной контроль сырья (дзета-потенциал).
2. Операционный контроль (прочность, плотность).
3. Выходной контроль (SEM, морозостойкость).

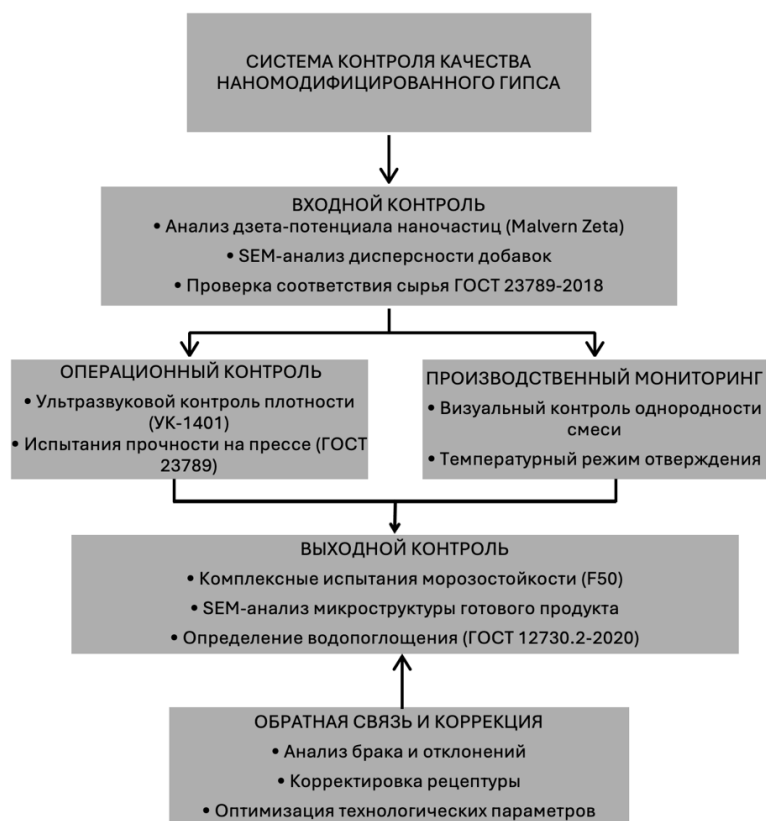


Рис.2 - Комплексная система для производственного внедрения

Проведенное исследование позволило получить следующие ключевые результаты и практические рекомендации:

1. Сравнительная эффективность наномодификаторов:

- углеродный наномодификатор фуллероидного типа (УНМ) продемонстрировал максимальную эффективность среди изученных добавок, обеспечивая: увеличение прочности на 80% (до 14.7 МПа), снижение водопоглощения на 30%, повышение морозостойкости до класса F50;

- наноксиды (SiO_2 и Al_2O_3) показали умеренное, но стабильное улучшение свойств: прирост прочности на 25-35%, снижение водопоглощения на 10-15%.

2. Механизмы модификации:

- SEM-анализ подтвердил, что УНМ формирует упорядоченную кристаллическую структуру с пониженной на 25% пористостью;

- SiO_2 и Al_2O_3 преимущественно уменьшают средний размер пор до 1.3-1.5 мкм;

- дзета-потенциал свидетельствует о стабильности дисперсий наночастиц в гипсовой матрице.

3. Стандартизация и контроль качества:

Разработана трехуровневая система контроля:

- входной контроль: анализ дзета-потенциала наночастиц, определение дисперсности методом SEM;

- производственный мониторинг: ультразвуковой контроль плотности (УК-1401), испытания прочности по ГОСТ 23789-2018 [5];

- выходной контроль: комплексная оценка морозостойкости, микроструктурный анализ (SEM).

4. Практические рекомендации:

- для критически важных конструкций рекомендовано применение УНМ в концентрации 0.05-0.1%;

- в массовом строительстве целесообразно использование SiO_2 (0.5%) как экономически эффективного решения;

- предложены конкретные дополнения в ГОСТ 125-79: введение класса «наномодифицированный гипс», стандартизация методов SEM-анализа, регламентация ультразвукового контроля.

5. Перспективы дальнейших исследований:

- изучение синергетического эффекта комбинированных добавок (УНМ+SiO₂);

- «Разработка экспресс-методов контроля нанопараметров»

- адаптация международных стандартов (ISO) для наномодифицированных гипсовых материалов.

Полученные результаты создают научную основу для внедрения наномодифицированных гипсовых материалов в строительную практику с гарантированным контролем качества на всех этапах производства.

Список литературы

1. Патент RU 2 627 335 С2 «Сырьевая смесь для строительных материалов».
2. ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».
3. Мокрова М.В. Влияние наномодификатора на твердение гипсового вяжущего // Инженерный вестник Дона. 2022. №9.
4. Мокрова М.В. Наномодифицированные гипсовые вяжущие: структура и свойства. – М.: Изд-во АСВ, 2022. – 180 с.
5. ГОСТ 23789-2018 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2018. – 24 с.