

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бабкина Михаила Андреевича на тему: «Разработка математической модели и цифрового двойника процессов измельчения в планетарной мельнице», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В диссертационной работе, которой посвящен автореферат, рассматривается задача разработки математической модели процессов измельчения твёрдых материалов в планетарной мельнице и её реализации в виде цифрового двойника. Целью исследования является получение инструментария, позволяющего описывать закономерности изменения размеров частиц во времени и обеспечивать возможность прогнозирования характеристик процесса при различных режимах работы оборудования.

Структура исследования включает экспериментальную часть, разработку теоретической модели, построение численных алгоритмов и создание программного комплекса. Важным является то, что автор смог соотнести экспериментальные данные с результатами математического моделирования, что обеспечило проверку адекватности предложенных зависимостей.

В работе представлена математическая модель, которая позволяет описывать устойчивый размер частиц и динамику изменения их распределения. Для решения интегро-дифференциального уравнения применены специальные численные схемы, адаптированные под уравнение баланса числа частиц. Экспериментальная база исследования (измельчение оксида алюминия в различных режимах, использование лазерной дифракции для анализа) обеспечила возможность параметризации и верификации модели.

Значимым результатом является разработка программного комплекса, ориентированного на практическое использование. Данный инструмент может

быть полезен инженерам и технологам, поскольку предоставляет не только прогноз по изменению среднего размера частиц во времени, но и позволяет отслеживать форму распределения частиц по размерам. Это является существенным преимуществом, так как в ряде технологических процессов критическую роль играют не только средние значения, но и другие статистические параметры — дисперсия, асимметрия и характер распределения. Таким образом, созданный комплекс может применяться для более точной настройки технологических режимов и оптимизации качества конечного продукта.

#### **Замечания:**

1. Не отражено влияние свойств среды (этанол) на термодинамические параметры измельчения — удельную мощность, поверхностную энергию, режим измельчения и проч.
2. Неполное варьирование параметров: в автореферате упоминается изменение размеров шаров (2 мм, 5 мм) и соотношение массы шаров к порошку (3:1, 5:1), но не объясняется, почему другие параметры (например, время измельчения, скорость вращения барабанов, материал мелющих тел, ПАВ) не варьировались.

Отмеченные выше замечания не снижают научную ценность и практическую значимость работы.

Диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Диссертационная работа Бабкина Михаила Андреевича на тему: «Разработка математической модели и цифрового двойника процессов измельчения в планетарной мельнице» в полной мере соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученой степени» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а автор Бабкин Михаил Андреевич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

28.08.2025

Научный сотрудник лаборатории  
физико-химического анализа  
керамических материалов, кандидат  
технических наук

111

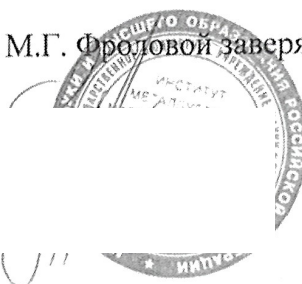
Марианна Геннадьевна  
Фролова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт  
металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук  
(ИМЕТ РАН)

Адрес ИМЕТ РАН: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49  
E-mail: [imet@imet.ac.ru](mailto:imet@imet.ac.ru), тел. +7 (499) 135-2060

Подпись научного сотрудника М.Г. Фроловой заверяю:

Начальник отдела кадров



Анна Вячеславовна  
Гуркина